

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
8. Juli 2004 (08.07.2004)

PCT

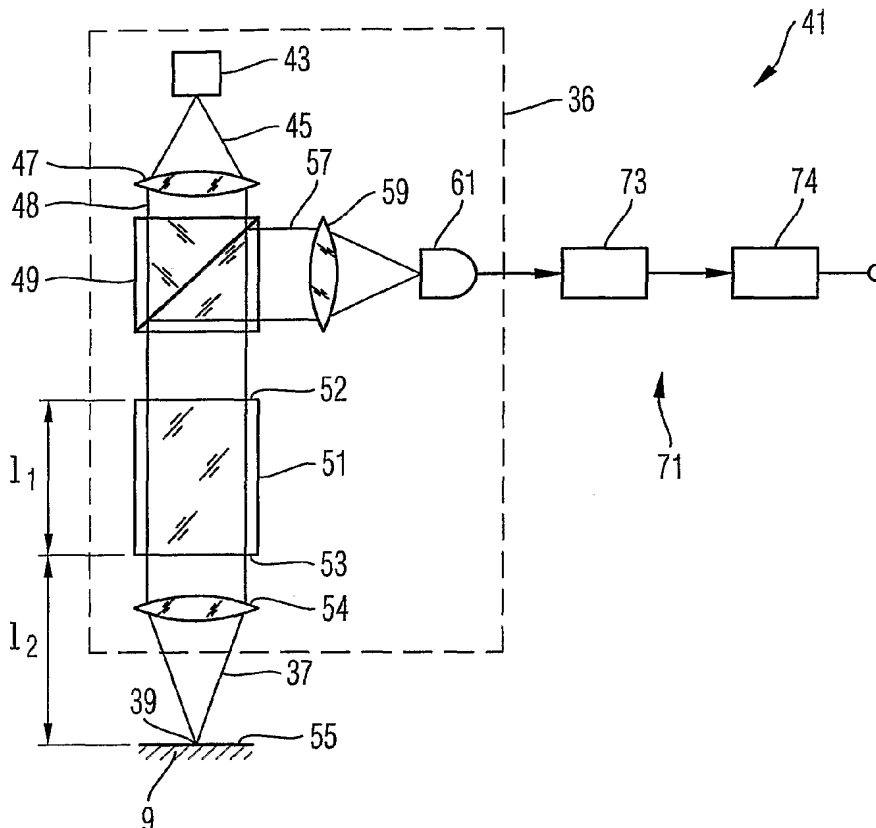
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/057266 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G01B 9/02**, 11/03, 11/24
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/014636
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
19. Dezember 2003 (19.12.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
102 60 256.5 20. Dezember 2002 (20.12.2002) DE
- (71) Anmelder (nur für AT, BE, BG, CH, CY, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GR, HU, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR): **CARL ZEISS** [DE/DE]; 89518 Heidenheim (Brenz) (DE).
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von CZ, GB, IE, US): **CARL-ZEISS-STIFTUNG trading as CARL ZEISS** [DE/DE]; 89518 Heidenheim (Brenz) (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HAUGER, Christoph** [DE/DE]; Bertha-von-Suttner-Weg 46, 73431 Aalen (DE). **LASSER, Theo** [DE/CH]; Rue de la Gare 7, CH-1162 St. Prex (CH). **SIEGEL, Augustin** [DE/DE]; Werner-von-Braun-Strasse 27\$, 73447 Oberkochen (DE). **HÖLLER, Frank** [DE/DE]; Milanweg 25, 73434 Aalen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: INTERFEROMETER SYSTEM AND MEASURING DEVICE

(54) Bezeichnung: INTERFEROMETERSYSTEM UND MESSVORRICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to an interferometer system (41), especially for use in a co-ordinate measuring system. Said interferometer system comprises, disposed in an illumination beam path, a pair of spaced-apart boundary surfaces (52, 53). A boundary surface (53) facing an object (9) is arranged in a detection beam path, a detector (61) being additionally disposed in said detection beam path. The invention also relates to an interferometer system, especially one of the above-described type, which is provided with a speed indicating system for detecting a relative speed between the test head and the object. A frequency filter of the interferometer system is adjusted depending on the relative speed.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/057266 A2



(DE). **KNUPFER, Klaus** [DE/DE]; Alemannenstrasse 55, 73457 Essingen (DE). **MONZ, Ludwin** [DE/DE]; Pfarrer-Brantzen Str. 48, 55122 Mainz (DE). **GROSS, Herbert** [DE/DE]; Ginsterweg 3/1, 73457 Essingen (DE).

(74) **Anwälte: SCHORR, Frank** usw.; Augustenstrasse 46, 80333 München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Interferometersystem (41) insbesondere zur Verwendung für ein Koordinatenmessgerät vorgeschlagen, wobei das Interferometersystem in einem Beleuchtungsstrahlengang ein Paar von mit Abstand voneinander angeordneten Grenzflächen (52, 53) aufweist und eine einem Objekt (9) zuweisende Grenzfläche (53) des Grenzflächenpaares in einem Detektionsstrahlengang angeordnet ist, wobei in dem Detektionsstrahlengang ferner ein Detektor (61) angeordnet ist. Ferner wird ein Interferometersystem, insbesondere der vorangehend geschilderten Art, vorgeschlagen, welches ein Geschwindigkeitsmesssystem zur Erfassung einer Relativgeschwindigkeit zwischen dem Messkopf und dem Objekt aufweist, wobei ein Frequenzfilter des Interferometersystems in Abhängigkeit von der Relativgeschwindigkeit eingestellt wird.

5

## Interferometersystem und Meßvorrichtung

---

10

Die Erfindung betrifft ein Interferometersystem sowie ein Werkzeug, insbesondere ein Meßwerkzeug oder/und ein Bearbeitungswerkzeug, mit einem solchen Interferometersystem.

15

Beispielsweise aus der US-Patentschrift 4,175,327 ist ein Koordinatenmeßgerät mit einer Werkstückhalterung zur Anbringung eines zu vermessenden bzw. anzutastenden Werkstücks und einem bezüglich der Werkstückhalterung räumlich verlagerbaren Tastkopf bekannt. An dem Tastkopf ist ein Taststift in einer Ruhelage bezüglich des Tastkopfes gehalten, wobei Auslenkungen des Taststiftes aus dieser Ruhelage gegen eine Federkraft möglich sind und von dem Tastkopf registriert werden. Zur Bestimmung von Koordinaten einer Oberfläche des Werkstücks wird der Tastkopf bezüglich der Werkstückhalterung räumlich verfahren, bis eine Spitze des Taststiftes, welche beispielsweise die Gestalt einer Kugel aufweisen kann, mit der Oberfläche des Werkstückes in Berührungskontakt kommt. Dies führt zu einer Auslenkung der Tastspitze aus ihrer Ruhelage, was von dem Tastkopf registriert wird. Sodann werden die Relativpositionen des Tastkopfes bezüglich der Werkstückhalterung bestimmt, woraus die Koordinaten des Punktes auf der Oberfläche des Werkstückes ermittelt werden können, an welchem der Berührungskontakt zwischen Werkstückoberfläche und Taststift stattfindet. Es können auf ähnliche Weise weitere Koordinaten von Oberflächenpunkten des Werkstückes ermittelt werden. Es

35

ist ebenfalls möglich, den Tastkopf relativ zu dem Werkstück so zu verfahren, daß der Taststift mit einer vorbestimmten Anlagekraft gegen die Werkstückoberfläche gedrückt wird, so daß die Werkstückoberfläche nach und nach systematisch abgetastet werden kann, um deren Geometrie zu vermessen.  
5

Das bekannte Koordinatenmeßgerät setzt zur Ermittlung von Koordinaten der Werkstückoberfläche einen mechanischen Kontakt zwischen der Werkstückoberfläche und dem Meßkopf voraus. Dies kann zum einen bei empfindlichen Werkstücken zu einer Beschädigung oder Deformation des Werkstückes selbst führen und zum anderen, insbesondere bei miniaturisierten Tastköpfen, zu einer Beschädigung des Tastkopfes bzw. Taststiftes selbst, wenn dessen Annäherung an das Werkstück mit  
10  
15 einer zu hohen Geschwindigkeit erfolgt.

Es ist demgemäß eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Meßvorrichtung vorzuschlagen, welche einen berührungslos arbeitenden Tastkopf aufweist.  
20

Ferner ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Interferometersystem vorzuschlagen, welches als ein Abstandssensor arbeiten kann und insbesondere in einem Tastkopf der Meßvorrichtung einsetzbar ist.  
25

Hierzu schlägt die Erfindung unter einem ersten Aspekt ein Interferometersystem mit einem Meßkopf zum Senden von Beleuchtungsstrahlung auf ein Objekt und zum Empfang von von dem Objekt zurückgeworfener Detektionsstrahlung vor, wobei  
30 eine Anordnung des Meßkopfes mit einem Arbeitsabstand von dem Objekt vorgesehen ist.

Das Interferometersystem umfaßt insbesondere eine erste Strahlungsquelle zur Bereitstellung von Strahlung mit einer vorbestimmten ersten Kohärenzlänge kleiner als der Arbeitsabstand, ein Paar von mit Abstand voneinander angeordneten teilreflektierenden Grenzflächen, und einen Detektor. Das Interferometersystem stellt insbesondere einen Beleuchtungsstrahlengang für auf das Objekt gerichtete Beleuchtungsstrahlung bereit. In dem Beleuchtungsstrahlengang ist vorzugsweise die erste Grenzfläche des Grenzflächenpaares zwischen der Strahlungsquelle und dem Objekt angeordnet und eine zweite Grenzfläche des Grenzflächenpaares zwischen der Strahlungsquelle und der ersten Grenzfläche angeordnet.

Ferner stellt das Interferometersystem insbesondere einen Detektionsstrahlengang für die von dem Objekt zurückgeworfene Detektionsstrahlung bereit. In dem Detektionsstrahlengang ist die erste Grenzfläche zwischen dem Objekt und dem Detektor angeordnet.

Bei diesem Aufbau des Interferometersystems ergeben sich dann an dem Detektor aufgrund von konstruktiven bzw. destruktiven interferenten Strahlungsüberlagerungen Erhöhungen und Abschwächungen eines Detektionssignals, wenn eine optische Weglänge zwischen der ersten Grenzfläche und dem Objekt in einem Bereich um einer optischen Weglänge zwischen den beiden Grenzflächen liegt. Derartige Signalerhöhungen bzw. -abschwächungen sind durch eine Auswerteschaltung des Interferometersystems detektierbar, so daß von der Schaltung ein Signal ausgegeben werden kann, welches anzeigt, ob der Meßkopf mit im wesentlichen dem vorbestimmten Arbeitsabstand von dem Objekt angeordnet ist oder nicht. Diese Detektion ist ohne direkten mechanischen Kontakt zwischen dem Meßkopf und dem Objekt möglich, weshalb das Interferometersystem beispielsweise als Ersatz für einen

einen mechanischen Kontakt registrierenden Tastkopf eines Koordinatenmeßgerätes dienen kann.

Es ist bevorzugt, wenn das Interferometersystem eine in dem  
5 Detektionsstrahlengang zwischen der ersten Grenzfläche und dem Detektor angeordnete Strahlungsweiche umfasst, die den Detektionsstrahlengang aus dem Beleuchtungsstrahlengang auskoppelt. Bei manchen Lichtquellen (z.B. SLDs) kann aber das vom Objekt zurückgeworfene Licht auch durch die Licht-  
10 quelle hindurch auf den Detektor geführt werden. Sofern vorgesehen, ist die Strahlungsweiche in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle und der ersten Grenzfläche angeordnet.

15 Vorzugsweise ist die Strahlungsweiche in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle und der zweiten Grenzfläche angeordnet, es ist jedoch ebenfalls bevorzugt die Strahlungsweiche zwischen dem Grenzflächenpaar anzuordnen.

20 Die erste Kohärenzlänge ist vorzugsweise kürzer als der Arbeitsabstand und insbesondere wesentlich kürzer als ein Abstand zwischen der ersten Grenzfläche und dem Objekt, wenn dieses mit dem Arbeitsabstand von dem Meßkopf angeordnet ist. Vorzugsweise umfaßt das Interferometersystem eine Fo-  
25 kussieroptik zur Fokussierung der von der ersten Strahlungsquelle bereitgestellten Strahlung in einem ersten Beleuchtungsstrahlungsfokus, welche mit einem Abstand von dem Meßkopf angeordnet ist, der im wesentlichen dem Arbeitsab-  
30 stand entspricht.

Es sind dann vorzugsweise eine zweite Strahlungsquelle zur Bereitstellung von Strahlung ebenfalls einer vorbestimmten Kohärenzlänge vorgesehen, wobei die von der ersten und der

zweiten Strahlungsquelle bereitgestellten Strahlungen in dem Beleuchtungsstrahlengang überlagert sind. Hierbei unterscheiden sich die von der ersten bzw. der zweiten Strahlungsquelle bereitgestellten Strahlungen hinsichtlich ihrer Wellenlänge, so daß die Fokussieroptik die jeweilige Strahlung an verschiedenen Beleuchtungsstrahlungsfoki fokussiert, welche mit unterschiedlichem Abstand von dem Meßkopf angeordnet sind. Es ist somit möglich, festzustellen, ob das Objekt nahe dem ersten, nahe dem zweiten oder nahe einem möglichen weiteren Beleuchtungsstrahlungsfokus angeordnet ist.

Um festzustellen, ob das Objekt mit in etwa dem Arbeitsabstand von dem Meßkopf angeordnet ist, ist vorzugsweise wenigstens eine Grenzfläche des Grenzflächenpaares mittels eines Antriebes relativ zu dem Meßkopf verlagerbar. Bei einer Untersuchung des von dem Interferometersystem bereitgestellten Meßsignals in Abhängigkeit von der Verlagerung der wenigstens einen Grenzfläche relativ zu dem Meßkopf ist es dann möglich, festzustellen, ob das Objekt in einem Bereich um den vorbestimmten Arbeitsabstand von dem Meßkopf liegt.

Das Grenzflächenpaar kann, gemäß einer bevorzugten Ausführungsform, durch zwei einander gegenüberliegende Oberflächen eines transparenten Körpers bereitgestellt sein. Ebenfalls bevorzugt ist es jedoch, das Grenzflächenpaar durch zwei mit Abstand voneinander angeordnete transparente Platten bereitzustellen. Bei einer Realisierung des Interferometersystems mittels lichtleitender Fasern ist es weiterhin bevorzugt, in einer der lichtleitenden Fasern mit Abstand voneinander angeordnete teilreflektierende Strukturen, beispielsweise als Bragg-Gitter, bereitzustellen, um das Grenzflächenpaar zu realisieren.

Das Interferometersystem ist vorzugsweise ein Weißlicht-Interferometersystem, das heißt die von der ersten Strahlungsquelle bereitgestellte Strahlung weist eine Kohärenzlänge auf, die in etwa der Genauigkeit, mit der eine Bestimmung des Abstandes zwischen dem Meßkopf und dem Objekt möglich ist, entspricht. Ist das Objekt zunächst mit einem Abstand von dem Meßkopf angeordnet, welcher größer ist als der vorbestimmte Arbeitsabstand, und wird der Meßkopf so-  
dann mit einer konstanten Geschwindigkeit dem Objekt angenähert, so treten in einem Bereich um den vorbestimmten Arbeitsabstand abwechselnd Signalerhöhungen aufgrund konstruktiver Interferenz und Signalabschwächungen aufgrund destruktiver Interferenz auf. Die Abfolge der Signalerhöhungen bzw. -abschwächungen tritt mit einer Frequenz auf, welche von der Geschwindigkeit abhängt, mit der sich der Meßkopf und das Objekt einander annähern. Da das Detektionssignal des Interferometersystems mit einem starken Rauschen behaftet ist, ist es vorteilhaft, das Detektionssignal einer Frequenzfilterung, insbesondere Bandpaßfilterung, zu unterwerfen, um die Anordnung des Objekts in einem Bereich um den vorbestimmten Arbeitsabstand zu registrieren. Die Signalverarbeitung kann aber auch durch geeignete Computerprogramme erfolgen.

Unter einem weiteren Aspekt geht die Erfindung aus von einem Weißlicht-Interferometersystem mit einem ersten Detektor und einer Verarbeitungsschaltung für von dem ersten Detektor bereitgestellten Meßsignalen, wobei die Verarbeitungsschaltung einen Frequenzfilter für Signale umfaßt, welche eine von dem ersten Detektor registrierte Strahlungsintensität repräsentieren.



Die Erfindung zeichnet sich unter diesem Aspekt dadurch aus, daß an dem Meßkopf ein Geschwindigkeitsmeßsystem vorgesehen ist, welches ein Geschwindigkeitssignal bereitstellt, das eine Relativgeschwindigkeit zwischen dem Objekt und dem Meßkopf repräsentiert. Es wird dann der Frequenzfilter für die Signale des ersten Detektors in Abhängigkeit von dem Geschwindigkeitssignal eingestellt. Hierdurch ist es möglich, die Auswertung der Signale des ersten Detektors des Weißlicht-Interferometers im wesentlichen optimal auf eine an sich unbekannte Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt einzustellen.

Vorzugsweise umfaßt das Geschwindigkeitsmeßsystem einen Strahlengang für eine von einer dritten Strahlungsquelle bereitgestellte Strahlung mit einer großen Kohärenzlänge. Auch diese Strahlung wird zu dem Objekt hin ausgesendet, und von dem Objekt zurückkommende Strahlung wird in interferente Überlagerung mit einer Referenzstrahlung gebracht, so daß, im wesentlichen unabhängig von dem Abstand zwischen Meßkopf und Objekt, abwechselnd eine interferente Signalerhöhung bzw. -abschwächung bei der Detektion dieser Strahlung entsteht und aus der Frequenz dieser Signalerhöhungen bzw. -abschwächungen die Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt wenigstens hinsichtlich ihrer absoluten Größe bestimmbar ist.

Vorzugsweise sind die Strahlengänge für die Strahlung der kurzen Kohärenzlänge und die Strahlung der großen Kohärenzlänge zwischen Meßkopf und Objekt einander überlagert. Für die von dem Objekt zurückgeworfene Strahlung der kurzen Kohärenzlänge und die von dem Objekt zurückgeworfene Strahlung der großen Kohärenzlänge sind vorzugsweise separate Detektoren vorgesehen. Es ist jedoch auch möglich, beide Strahlungen mit einem gemeinsamen Detektor nachzuweisen.

Unter einem weiteren Aspekt sieht die Erfindung eine Meßvorrichtung vor, welche eine Plattform zur Anbringung des Objekts, einen Meßkopf und eine den Meßkopf tragende Verlagerungsmechanik zur Verlagerung des Meßkopfes relativ zu der Plattform umfaßt. Hierbei umfaßt die Meßvorrichtung dann vorzugsweise eines der vorangehend beschriebenen Interferometersysteme.

Die Meßvorrichtung ist vorzugsweise ein Koordinatenmeßgerät. Es ist jedoch auch vorgesehen, daß die Meßvorrichtung ein Bearbeitungswerkzeug, wie etwa eine Fräsmaschine, Schleifmaschine oder dergleichen umfaßt, wobei ein Abstand eines Bearbeitungswerkzeuges von dem Objekt gemessen wird.

Unter einem weiteren Aspekt sieht die Erfindung ein Verfahren zum Positionieren eines Meßkopfes mit einem vorbestimmten Arbeitsabstand von einem Objekt vor. Hierin wird ein Interferometersystem bereitgestellt, welches ein Abstandssignal bereitstellt, welches anzeigt, ob der Meßkopf mit einem Abstand von dem Objekt angeordnet ist, der im wesentlichen gleich dem Arbeitsabstand ist, oder ob dies nicht der Fall ist.

Ferner wird ein Geschwindigkeitsmeßsystem bereitgestellt, welches ein Geschwindigkeitssignal bereitstellt, welches eine Relativgeschwindigkeit zwischen dem Objekt und dem Meßkopf repräsentiert. Die Ermittlung des Abstandssignals erfolgt dann in Abhängigkeit von dem Geschwindigkeitssignal.

Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand von Zeichnungen näher erläutert. Hierbei zeigt

- Figur 1 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Koordinatenmeßgeräts,
- Figur 2 eine Ausführungsform eines Interferometersystems, welches in dem Koordinatenmeßgerät gemäß Figur 1 einsetzbar ist,
- Figur 3 eine schematische Darstellung von Strahlengängen zur Erläuterung einer Funktion des Interferometersystems gemäß Figur 2,
- Figur 4 eine Darstellung eines Detektionssignals, wie es im Betrieb des Interferometersystems gemäß Figur 2 auftritt,
- Figur 5 eine Variante des in Figur 2 gezeigten Interferometersystems,
- Figur 6 eine weitere Variante des in Figur 2 gezeigten Interferometersystems,
- Figur 7 eine Darstellung eines Detektionssignals, wie es beim Betrieb des in Figur 6 gezeigten Interferometersystems auftritt,
- Figur 8 eine weitere Variante des in Figur 2 gezeigten Interferometersystems,
- Figur 9 ein Detektionssignal, wie es beim Betrieb des Interferometersystems gemäß Figur 8 auftritt,
- Figur 10 eine Detaildarstellung eines Meßkopfs des Interferometersystems gemäß Figur 8,

Figur 11 eine Variante des in Figur 10 gezeigten Meßkopfs für ein weiteres Interferometersystem,

Figur 12 eine weitere Variante des in Figur 2 gezeigten Interferometersystems,

Figur 13 bis

Figur 16 zeigen weitere Varianten des in Figur 2 gezeigten Interferometersystems, und

Figur 17 bis

Figur 19 zeigen Details einer Auswerteschaltung.

Figur 1 zeigt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Koordinatenmeßgeräts in perspektivischer Darstellung. Das Koordinatenmeßgerät umfaßt einen Sockel 3 mit vier Standfüßen 5. Der Sockel 3 trägt in seiner Mitte eine Werkstückhalterung 7, auf der ein zu vermessendes Werkstück 9 angebracht ist. Beidseits der Werkstückhalterung erstrecken sich an dem Sockel 3 Streben 11, 12 nach oben, welche zwei beidseits der Werkstückhalterung angeordnete und in einer horizontalen y-Richtung sich erstreckende Längsführungen 13, 14 tragen. In Horizontalrichtung senkrecht (in x-Richtung) zu den Längsführungen 13, 14 erstreckt sich eine Querführung 15, welche an den Längsführungen 13, 14 in y-Richtung verschiebbar gelagert ist. Hierzu ist an einem Ende der Querführung 15 ein Führungsprofil 17 vorgesehen, welches die Längsführung 14 von oben U-förmig umgreift und an welchem mehrere Luftkissen 19 vorgesehen sind, mit denen die Querführung 15 an der Längsführung 14 abgestützt ist. Mit ihrem anderen Ende ist die Querführung 15 mit einem weiteren Luftkissen 20 auf der Oberseite der Längsführung 17 abgestützt und damit auch gegenüber dieser in y-Richtung

verschiebbar gelagert. Durch einen motorischen Antrieb kann die Querführung 15 entlang der Längsführung 14 verschoben werden, wobei eine entsprechende Verschiebestellung über einen an dem Sockel 3 festgelegten Maßstab und einen zugehörigen an dem U-Profil 17 festgelegten Sensor 21 abgelesen  
5 wird. An der Querführung 15 ist über ein Führungsprofil 20 eine Vertikalführung 27 in x-Richtung verschiebbar gelagert, wobei die Verschiebestellung wiederum über einen an der Querführung 15 angebrachten Maßstab 29 und einen an dem  
10 Profil 25 festgemachten Sensor 31 abgelesen wird. An dem Führungsprofil 25 sind zwei weitere mit Abstand voneinander angeordnete Führungsprofile 30 vorgesehen, welche eine sich in senkrechte Richtung (z-Richtung) erstreckende Stange 32 über einen Motor 33 verschiebbar lagern. Die Verschiebe-  
15 stellung der Stange 32 in z-Richtung wird über einen an der Stange 32 vorgesehenen Sensor 34 erfaßt, der die Position an einem an der Vertikalführung 27 vorgesehenen Maßstab 35 abliest. An einem unteren Ende der Stange 32 ist ein Meßkopf 36 angebracht, welcher eine Meßstrahlung 37 derart  
20 emittiert, daß diese in einem Meßstrahlungsfokus 39 fokussiert ist, welcher mit einem Abstand in z-Richtung von dem Meßkopf 36 angeordnet ist.

Der Meßkopf 36 ist Teil eines nachfolgend beschriebenen Interferometersystems, welches dann ein charakteristisches Meßsignal abgibt, wenn in einem Bereich um den Fokus 39 eine Objektoberfläche angeordnet ist. Es ist somit möglich, das Koordinatenmeßgerät 1 derart zu betreiben, daß sich der Meßkopf dem Werkstück 9 solange annähert bis das Interfero-  
25 metersystem eine Anordnung der Werkstückoberfläche in einem Bereich um den Fokus 39 registriert. Durch Ablesen der Stellungen an den Maßstäben 23, 29 und 35 über das Auslesen der Sensoren 21, 31 bzw. 34 ist es somit möglich, die Koordinaten des Ortes der Werkstückoberfläche zu bestimmen, welche  
30

im Bereich des Fokus 39 des Meßkopfs 36 liegt. Dieser Vorgang kann systematisch für eine Vielzahl von Orten der Werkstückoberfläche wiederholt werden, um dessen Geometrie zu vermessen.

5

Dabei wird aus den Einstellungen der Längs- und Querführung ein  $(x_0, y_0)$  - Koordinatendupel erhalten. Bei Annäherung des Fokus 39 an das Werkstück 9 innerhalb der Kohärenzlänge beginnt das Ausgabesignal des Detektors zu oszillieren (siehe auch Figur 4). Der Oszillationsschub erreicht ein Maximum an einer Stelle  $z_0$ , wenn der Fokus 39 gerade auf der Oberfläche des Werkstücks 9 angeordnet ist. Der Wert  $z_0$  wird zusammen mit dem Koordinatendupel als  $(x_0, y_0, z_0)$  - Tripel registriert. Aus einer Vielzahl solcher Messungen wird also eine komplette Topographie nämlich die Gesamtheit der  $(x, y, z)$  - Tripel, der Werkstückoberfläche erhalten. Zur Bereitstellung der Messergebnisse umfasst die Messvorrichtung eine Ausgabeschnittstelle für ein Positionssignal, das Oberflächenkoordinaten des Objektivs relativ zur Plattform repräsentiert.

20

Ein schematischer Aufbau eines Interferometersystems 41, von dem einige Komponenten in dem Meßkopf 36 angeordnet sind, ist in Figur 2 gezeigt.

25

Das Interferometersystem 41 umfaßt eine Superlumineszenzdiode als Weißlichtquelle, das heißt Quelle einer Strahlung mit kurzer Kohärenzlänge, um Weißlichtinterferometrie mit dieser Strahlung durchzuführen. Diese Art von Interferometrie wird ebenfalls als OCT ("Optical Coherence Tomography") bezeichnet.

30

Beispielsweise ist als Quelle 43 eine Superlumineszenzdiode einsetzbar, wie sie unter der Produktbezeichnung SLD-38-MP, von der Firma Superlum Ltd. aus Moskau bezogen werden kann.

5 Die von der Quelle 43 bereitgestellte Strahlung 45 weist eine Wellenlänge  $\lambda_1 = 800 \text{ nm}$  und eine Kohärenzlänge  $l_c = 15 \text{ } \mu\text{m}$  auf. Die Strahlung 45 wird mittels einer Kollimationsoptik 47 zu einem parallelen Strahl 48 kollimiert, der zunächst einen Strahlteiler 49 geradlinig durchsetzt,  
10 und sodann in einen Glaskörper 51 über eine erste teilreflektierende Grenzfläche 52 desselben eintritt. Aus dem Glaskörper 51 tritt die Strahlung 48 sodann durch eine teilreflektierende Grenzfläche 53 wieder aus, welche der Grenzfläche 52 diametral gegenüberliegt und parallel zu  
15 dieser orientiert ist. Ferner sind die beiden Grenzflächen 52, 53 orthogonal zur Richtung des Strahls 48 orientiert. Ein Abstand zwischen den beiden Grenzflächen 52 und 53 beträgt  $l_1$ .

20 Nach dem Austritt aus dem Glaskörper 51 über die Grenzfläche 53 wird der Strahl 48 von einer weiteren Fokussieroptik 54 derart fokussiert, daß die Strahlung in dem Fokuspunkt 39 derart fokussiert ist, daß der Fokuspunkt 39 mit einem Abstand  $l_2$  von der Grenzfläche 53 angeordnet ist.

25

In Figur 2 ist ferner das Objekt 9 gezeigt, welches mit einem solchen Abstand von dem Meßkopf 36 angeordnet ist, daß dieser Abstand dem vorbestimmten Arbeitsabstand des Meßkopfes 36 entspricht. Der Arbeitsabstand kann beispielsweise  
30 weise als Abstand zwischen der Forderfläche der Fokussierlinse 54 und dem Fokuspunkt 39 gemessen werden. Bei Anordnung des Objekts 9 mit dem Arbeitsabstand von dem Meßkopf 36 ist die Objektoberfläche 55, gesehen in z-Richtung, nahe dem Fokuspunkt 39 angeordnet.

Die Objektoberfläche 55 wirft die auf diese gerichtete Meßstrahlung 48 wenigstens teilweise zurück, so daß die zurückgeworfene Detektionsstrahlung wieder in die Fokussieroptik 54 eintritt, von dieser zu einem parallelen Strahlenbündel geformt wird, welches den Glaskörper 41 durchsetzt und sodann von dem Strahlteiler 49 als Detektionsstrahl 57 reflektiert wird, welcher mittels einer Fokussieroptik 59 auf einen Strahlungsdetektor 61 fokussiert wird.

Strahlengänge, wie sie in dem Interferometersystem 41 auftreten können, sind symbolisch in Figur 3 dargestellt:

Bei einem Strahlengang I tritt Strahlung der Quelle 43 von oben über die Grenzfläche 52 in den Glaskörper 51 ein, durchsetzt diesen, tritt aus diesem durch die Grenzfläche 53 aus, wird von der Objektoberfläche 55 reflektiert, tritt über die Grenzfläche 53 in den Glaskörper 51 ein, durchsetzt diesen erneut und tritt aus diesem über die Grenzfläche 52 wieder aus.

In einem Strahlengang II tritt Strahlung der Quelle 43 über die Grenzfläche 52 in den Glaskörper 51 ein, wird an dessen Grenzfläche 53 reflektiert, wird daraufhin an der Grenzfläche 52 reflektiert, wird daraufhin an der Grenzfläche 53 erneut reflektiert und tritt über die Grenzfläche 52 aus dem Glaskörper 51 aus.

Wenn die beiden Strahlengänge I und II gleiche optische Weglängen bereitstellen, registriert der Detektor 61 eine interferente Signalerhöhung. Die optischen Weglängen der Strahlengänge I und II sind dann gleich, wenn die optische Weglänge der Strecke  $l_1$ , das heißt der Abstand der beiden Grenzflächen 52, 53 voneinander, gleich der optischen Weg-



länge der Strecke  $l_2$ , das heißt dem Abstand der Grenzfläche 53 von der Oberfläche 55, ist.

Die optische Weglänge auf der Strecke  $l_2$  ist im wesentlichen  
5 gleich  $l_2$ , da der Strahlengang, abgesehen von der Fokussier-  
optik 54, durch Luft läuft. Die optische Weglänge auf der  
Strecke  $l_1$  ist im wesentlichen gleich  $n \times l_1$ , wobei  $n$  der  
Brechungsindex des Mediums des Glaskörpers 51 ist.

10 Ein in Figur 3 gezeigter Strahlengang III unterscheidet  
sich von dem Strahlengang I dadurch, daß eine zusätzliche  
Hin- und Herreflexion zwischen den Grenzflächen 52 und 53  
auftritt. Ebenso unterscheidet sich ein Strahlengang IV von  
dem Strahlengang II durch eine zusätzliche Hin- und Her-  
15 reflexion an den Grenzflächen 52, 53. Auch die Strahlen-  
gänge III und IV überlagern sich interferent intensitäts-  
erhöhend, wenn, abgesehen von der Weglänge der Fokussier-  
optik 54, in etwa gilt:

$$n \cdot l_1 = l_2$$

20 Aufgrund der mehrmaligen Reflexion an den Grenzflächen 52,  
53 tragen die Strahlengänge III und IV, im Vergleich zu den  
Strahlengängen I und II, wesentlich weniger zu dem von dem  
25 Detektor 61 detektierten Signal bei. Es gibt neben den in  
Figur 3 gezeigten Strahlengängen I bis IV noch weitere  
Strahlengänge, welche eine noch höhere Anzahl von Reflexio-  
nen an den Grenzflächen 52, 53 aufweisen, deren relativer  
Beitrag zu der Gesamtintensität an dem Detektor 61 jedoch  
30 noch geringer ist.

In Figur 4 ist als Kurve 65 ein Verlauf eines Intensitäts-  
signals I des Detektors 61 dargestellt, wie er bei Annähe-  
rung des Meßkopfes 36 an die Objektoberfläche 55 auftritt.

Für große  $z$ -Werte ist der Abstand zwischen Meßkopf 36 und Objektoberfläche 55 größer als der Arbeitsabstand  $z_0$  des Meßkopfes. Es treten bei derart großen Abständen keine Interferenzerscheinungen an dem Detektor 61 auf, und eine registrierte Strahlungsintensität  $I$  ist zu 1,0 normiert.  
5 Mit zunehmender Annäherung des Meßkopfes 36 an die Objektoberfläche 55, das heißt abnehmenden  $z$ -Werten, treten dann im Abstand  $z_1$  abwechselnd interferente Signalerhöhungen bzw. Signalauslöschungen auf, welche in Figur 4 als Maxima 67  
10 bzw. Minima 68 der Kurve 65 eingetragen sind. Das höchste Maximum 67 tritt dann auf, wenn die Objektoberfläche 55 exakt mit dem Arbeitsabstand  $z_0$  von dem Meßkopf angeordnet ist. Dies ist dann der Fall, wenn die optische Weglänge der Strecke  $l_1$  genau gleich der optischen Weglänge der Strecke  
15  $l_2$  ist.

Wird der Meßkopf 36 über den vorbestimmten Arbeitsabstand hinaus weiter an die Objektoberfläche 55 angenähert, so treten zunächst noch weitere Maxima 67 und Minima 68 der  
20 nachgewiesenen Intensität  $I$  auf, welche jedoch zunehmend abnehmen, bis schließlich keine Interferenzerscheinungen mehr auftreten und das Meßsignal  $I$  wieder den auf eins normierten Wert annimmt.

25 Erfolgt die Annäherung des Meßkopfes 36 an die Objektoberfläche 55 mit einer konstanten Geschwindigkeit, so treten die um  $z_1$  beabstandeten Maxima 67 bzw. Minima 68 in dem Meßsignal des Detektors 61 mit einer konstanten Frequenz  $f_1$  auf. Eine Auswerteschaltung 71 des Interferometersystems 41  
30 umfaßt einen auf die Frequenz  $f_1$  abgestimmten Bandpaßfilter 73, welcher Signalkomponenten des von dem Detektor 61 bereitgestellten Signals an eine Demodulationsschaltung 74 passieren läßt, welche in einem Frequenzband um die Frequenz  $f_1$  liegen. Die Demodulationsschaltung 74 generiert

aus dieser Signalkomponente ein Ausgabesignal, wie es in Figur 4 als gestrichelte Linie 75 eingetragen ist. Diese hat die Form einer bezüglich dem Arbeitsabstand  $z_0$  zentrierten Glockenkurve mit einer Halbwertsbreite, welche  
5 in etwa der Kohärenzlänge  $l_c$  der von der Quelle 43 bereitgestellten Strahlung entspricht.

Nachfolgend werden Varianten der in den Figuren 1 bis 4 erläuterten Ausführungsformen beschrieben. Hierbei sind Komponenten, die hinsichtlich ihres Aufbaus oder ihrer Funktion Komponenten der Figuren 1 bis 4 entsprechen, mit den gleichen Bezugsziffern, zur Unterscheidung jedoch mit einem  
10 zusätzlichen Buchstaben versehen.

Ein in Figur 5 dargestelltes Interferometersystem 41a weist einen ähnlichen Aufbau auf wie das in Figur 2 gezeigte Interferometersystem. Allerdings werden bei dem Interferometersystem 41a Glasfasern zur Bereitstellung der Strahlengänge eingesetzt. Von einer Weißlichtquelle 43a bereitgestellte Strahlung einer kurzen Kohärenzlänge wird in eine  
20 Glasfaser 77 eingekoppelt, durch einen Strahlteiler 79 geleitet und in der Glasfaser 77 weitergeführt, bis sie an einem Ende 80 derselben austritt. Nach dem Austritt aus der Glasfaser 77 wird die Strahlung mittels einer Fokussieroptik 47a zu einem parallelen Strahl 48a geformt, welcher nacheinander zwei planparallele Glasplatten 81 und 82 durchsetzt und schließlich durch eine Fokussieroptik 54a in einem Fokuspunkt 39a fokussiert wird. Jeweils eine der beiden Oberflächen der Glasplatten 81 und 82 ist teilweise  
25 verspiegelt, so daß an den Glasplatten 81, 82 Grenzflächen 52a und 53a mit Abstand voneinander angeordnet bereitgestellt sind, um hierzwischen eine vorbestimmte optische Weglänge bereitzustellen (vergleiche Strahlengänge II, IV gemäß Figur 3).

Von einem in der Nähe des Fokuspunktes 39a angeordneten Objekt zurückgeworfene Strahlung wird von der Fokussieroptik 54a wiederum zu einem parallelen Strahl geformt, welcher  
5 nacheinander die Glasplatten 82 und 81 und die Fokussieroptik 47a durchsetzt, von letzterer fokussiert und in das Ende 80 der Glasfaser 77 eingekoppelt wird. Diese zurückgeworfene Strahlung wird dann von der Faser 77 zu dem Strahlteiler 79 geführt und geht in diesem in eine Glasfaser 83  
10 über, um schließlich von dem Detektor 61a nachgewiesen zu werden. Eine Auswertung der Signale des Detektors 61a erfolgt, ähnlich wie dies vorangehend mit den Figuren 2, 3 und 4 beschrieben wurde, über einen Bandpaßfilter 73a und eine Demodulationsschaltung 74a.

15 Bei dem Interferometersystem 41a ist die Glasplatte 82 in eine Richtung transversal zur Orientierung der teilreflektierenden Fläche 53a durch einen Antrieb hin und her verlagerbar, wie dies in Figur 5 durch einen Pfeil 85 symbolisiert ist. Der Antrieb erfolgt über einen in Figur 5  
20 nicht im Detail dargestellten Aktuator, welcher einen elektromagnetisch arbeitenden Aktuator oder einen piezoelektrischen Aktuator oder dergleichen umfassen kann. Aufgrund der Verlagerung der Grenzfläche 53a sind somit die Strecken  $l_1$  und  $l_2$  änderbar. Damit kann, wenn eine Objektoberfläche in  
25 etwa mit dem Arbeitsabstand von dem Meßkopf angeordnet ist, die Kurve 65 gemäß Figur 4 wiederholt durchfahren werden, um die Lage des höchsten Maximums 67 und damit die genaue Anordnung der Objektoberfläche in Bezug auf den Meßkopf  
30 wiederholt zu ermitteln. Die Frequenz  $f_1$ , mit der die Maxima bzw. Minima nacheinander auftreten, ist dann im wesentlichen bestimmt durch die Verlagerungsgeschwindigkeit der Grenzfläche 53a in Strahlrichtung, und der Bandpaßfilter 73a ist vorteilhafterweise auf die Frequenz  $f_1$  derart einge-

stellt, daß er Frequenzen in einem Bereich um diese Frequenz  $f_1$  zu der Demodulationsschaltung 74a passieren läßt.

Ein in Figur 6 schematisch dargestelltes Interferometersystem 41b weist einen ähnlichen Aufbau auf, wie das in Figur 2 gezeigte Interferometersystem:

Von einer Weißlichtquelle 43b bereitgestellte Strahlung 45b einer kurzen Kohärenzlänge wird durch eine Fokussieroptik 47b zu einem Beleuchtungsstrahl 48b kollimiert, welcher einen Strahlteiler 49b durchläuft und weiterhin zwei mit einem Abstand  $l_1$  voneinander angeordnete Grenzflächen 52b und 53b durchsetzt und weiter von einer Fokussieroptik 54b in einem mit einem Abstand  $l_2$  von der Grenzfläche 53b angeordneten Fokuspunkt 39b fokussiert wird. Die Grenzfläche 52b ist durch eine teilweise verspiegelte Oberfläche des Strahlteilers 49b bereitgestellt, und die Grenzfläche 53b ist durch eine teilweise verspiegelte Planfläche der Fokussieroptik 54b bereitgestellt.

Von einer in einem Bereich um den Fokuspunkt 39b angeordneten Oberfläche 55b eines Objekts 9b reflektierte Strahlung wird von der Fokussieroptik 54b wiederum fokussiert und von dem Strahlteiler 49b als Detektionsstrahl 57b ausgekoppelt und von einer Fokussieroptik 59b auf einen Detektor 51b fokussiert. Das von dem Detektor 51b bereitgestellte Meßsignal durchläuft einen Bandpaßfilter 73b und eine Demodulationsschaltung 74b.

In Ergänzung zu dem in Figur 2 gezeigten Interferometersystem umfaßt das Interferometersystem 41b eine Laserlichtquelle 91 zur Erzeugung einer Strahlung 92 einer großen Kohärenzlänge, welche bei Ausführung der Quelle 91 als grüner Laser beispielsweise über 100 m betragen kann. Zwischen der

Fokussieroptik 47b und dem Strahlteiler 49b ist in dem Strahl 48b ein weiterer Strahlteiler 94 angeordnet, welcher den Strahl 48 teilweise passieren läßt und welcher den passierenden Teil des Strahls 48 der Strahlung 92 nach deren Kollimierung mittels einer Kollimationsoptik 95 überlagert. Damit wird auch die Strahlung 92 auf das Objekt 9b gerichtet, und ein von der Objektoberfläche 55 zurückgeworfener Teil der Strahlung 92 wird ebenfalls durch die Kollimationsoptik 54b zu einem parallelen Strahl geformt, welcher durch den Strahlteiler 49b gemeinsam mit dem Strahl 57b reflektiert wird. Zwischen dem Strahlteiler 49b und der Kollimationsoptik 59b ist ein weiterer Strahlteiler 97 angeordnet, welcher die von der Objektoberfläche 55b zurückgeworfene Strahlung der Lichtquelle 91 reflektiert und nach Fokussierung durch eine Kollimationsoptik 99 auf einen Detektor 101 fokussiert.

Ein Verlauf einer Intensität  $I$  des von dem Detektor 101 registrierten Detektionssignals in Abhängigkeit von dem Abstand  $z$  der Objektoberfläche 55b von dem Meßkopf ist als Kurve 103 in Figur 7 schematisch dargestellt.

Aufgrund der großen Kohärenzlänge der von der Quelle 91 bereitgestellten Strahlung 92 treten über einen großen Bereich von Abständen ( $z$ -Werten) der Objektoberfläche 55b von dem Meßkopf abwechselnd Intensitätsmaxima und -minima im Abstand  $z_2$  auf. Bei einer gleichförmigen Annäherung des Meßkopfes an die Objektoberfläche 55b treten die Maxima bzw. die Minima mit einer konstanten Frequenz  $f_2$  auf. Diese Frequenz wird aus dem von dem Detektor 101 bereitgestellten Signal mittels einer Frequenzanalyseschaltung 103 ermittelt. Die Frequenz  $f_2$  repräsentiert damit den Absolutwert der Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt 9b. Die von der Schaltung 103 ermittelte Frequenz  $f_2$

wird an den Bandpaßfilter 73b ausgegeben, welcher das Frequenzband der ihn passierenden Signalkomponenten des Detektors 61b in Abhängigkeit von der Frequenz  $f_2$  einstellt. Die Einstellung erfolgt hierbei gemäß der Formel:

5

$$f_1 = f_2 \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1},$$

wobei

10  $f_1$  eine Mittenfrequenz des Bandpaßfilters 73b,

$\lambda_1$  eine Frequenz der Quelle 43b der Strahlung 45b mit kurzer Kohärenzlänge und

15  $\lambda_2$  eine Wellenlänge der von der Quelle 91 bereitgestellten Strahlung 92 mit großer Kohärenzlänge

ist.

20 Somit ist es möglich, eine zunächst unbekannte Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt unabhängig zu messen und dann den Bandpaßfilter 73b zur Analyse des Weißlicht-Interferenzsignals in Abhängigkeit von dieser Geschwindigkeit einzustellen.

25

Analog zur vorbeschriebenen Ausführungsform kann auch ein faseroptischer Aufbau eingesetzt werden (Figur 13), bei dem die Lichtstrahlen zwischen Lichtquellen 43f, 91f und quellenseitiger Grenzfläche 52f einerseits, sowie zwischen  
30 quellenseitiger Grenzfläche 52f und Detektoren 61f, 101f andererseits in Lichtleitfasern 77f, 77f1, 77f2, 83f geführt sind. Zwischen dem Faserende 80f und dem Objekt 39f entspricht diese Anordnung der in Figur 5 dargestellten.

Die Strahlteiler 79f, 79f', 97f sind in dieser Ausführungsform durch Faserkoppler gebildet. Wird der Grenzflächenabstand 11 variiert, insbesondere periodisch, und besonders bevorzugt sinusoidal, so erzeugt das von der langkohärenten Lichtquelle 91f emittierte Licht an dem hierfür vorgesehene-  
5 Detektor 101f in einem weiten Durchstimmbereich durch die Mehrfachreflexion ein Interferenzsignal, dessen Frequenz einerseits von der Frequenz der verwendeten Lichtquelle 91f, andererseits von der momentanen Verlagerungsgeschwindigkeit abhängt. Mit einer geeigneten Schaltung  
10 103f kann diese Frequenz des Interferenzsignals verwendet werden, um die Auswerteschaltung 147f für den Detektionszweig des kurzkohärenten Signals jeweils auf die momentane Verlagerungsgeschwindigkeit einzustellen.

15 Eine solche Schaltung 103 verwendet eine phasenunabhängige Synchrongleichrichtung (Figuren 17, 18 und 19). Hierbei wird zunächst das Signal des Detektors 101 für die langkohärente Strahlung, deren Haupt-Wellenlänge ja ebenso wie  
20 die der kurzkohärenten Strahlung bekannt ist, im Verhältnis dieser Wellenlängen in einem ersten Teiler Tn1 ganzzahlig geteilt. Sind z.B. die Wellenlängen 820 nm (kurzkohärent) und 670 nm (langkohärent), so ist das Verhältnis etwa 122:100, der erste Teilungsfaktor beträgt also 122. Der  
25 Ausgang eines spannungsgesteuerten Oszillators VCO wird entsprechend in einem zweiten Teiler Tn2 durch 100 geteilt, und beide geteilten Signale werden einem Phasendetektor  $\phi$  zugeführt (Figur 17). Dessen Ausgangssignal dient dann dazu, über einen Regler R, der aus diesem Ausgangssignal  
30 ein Regelsignal für den Oszillator VCO bereitstellt, die Frequenz des Oszillators VCO auf den gewünschten Wert zu regeln. Das so geregelte Oszillator-Signal dient der Auswerteschaltung 147 der Detektoranordnung für das kurzkohärente Signal als Referenzfrequenz. Hierbei wird vorzugsweise in Quadratur gemessen (Figur 18), d.h. das Referenzsignal wird in zwei mittels eines Phasenschiebers  $\Pi/2$   
35



gegeneinander um  $90^\circ$  phasenverschobenen Zweigen in den Multiplizierern X1 bzw. X2 jeweils mit dem Messsignal multipliziert und durch einen Tiefpass TP1 bzw. TP2 geführt, und die beiden Zweige danach im Sinne eines Root Mean Square (Wurzel aus der Quadratsumme, "Vektormessung") in einem Kombiniere VM wieder kombiniert. Dadurch ist das Messergebnis von der jeweiligen Phasenlage, und von der momentanen Verlagerungsgeschwindigkeit unabhängig, sofern letztere nicht gerade Null ist. Dies wäre an Umkehrpunkten einer sinusoidalen Relativbewegung der Grenzflächen 52, 53 der Fall. Auch bei einer solchen sinusoidalen Verlagerung könnte aber fast der gesamte Verlagerungsbereich zur Messung genutzt werden.

In Figur 19 ist die Schaltung des Kombiniere VM erläutert: Das Signal aus dem Tiefpass TP1 wird an beide Multiplikationseingänge des Multiplizierers/Dividierers M/D gelegt, das Signal aus dem Tiefpass TP2 mit dem Ausgangssignal des Kombiniere VM addiert und an den Divisionseingang des Multiplizierers/Dividierers M/D gelegt. Dessen Ausgangssignal wird mit dem Signal aus dem Tiefpass TP2 addiert und bildet so das Ausgangssignal des Kombiniere VM.

Alternativ kann die momentane Verlagerungsgeschwindigkeit auch direkt an der Verlagerungsanordnung oder an dem Aktuator zur Betätigung derselben gemessen oder anderweitig bestimmt werden oder auch von einer Treiberschaltung für den Aktuator abgegriffen werden. In dieser Ausführungsform sind die langkohärente Lichtquelle 91f, der zugehörige Detektor 101f und der Strahlteiler 97f im Detektionszweig sowie der Strahlkombiniere 79f' entbehrlich.

Die teilreflektierenden Grenzflächen 52, 53 können in einer solchen faseroptischen Bauweise durch in die Faser 77 eingebrachte Bragg-Gitter 105g1, 105g2 gebildet sein (Figur 14). Zur Erzeugung solcher Bragg-Gitter wird die Umhüllung

der Faser entfernt, sodann wird die Faser mit einer UV-Quelle (ca. 240 nm) durch eine Phasenmaske belichtet, und die durch den photosensitiven Effekt gebildete periodische Brechungsindexvariation wird durch Erhitzen stabilisiert.

5 Die Periodizität der Indexvariation wird dabei der zu reflektierenden Wellenlänge gemäß gewählt, die Länge des beleuchteten Bereichs der gewünschten Bandbreite (invers) entsprechend. Schliesslich wird das entfernte Mantelstück wiederhergestellt.

10 Wenn das Faserende als Gradientenindex-(GRIN-)Linse 109h ausgebildet ist, kann die Oberfläche 111h der GRIN-Linse teilverspiegelt werden (Figur 15) und so als Grenzfläche dienen; die zweite Grenzfläche wird wie vorbeschrieben

15 durch ein Faser-Bragg-Gitter 105h gebildet.

In den letzten beiden Ausführungsformen erfolgt die Verlagerung der Grenzflächen 105g1, 105g2 bzw. 105h, 111h zueinander durch Piezo-Faserstrecke 107g bzw. 107h. Hierbei

20 wird die Faser 77g bzw. 77h mehrfach um zwei halbzylinderförmige, beabstandete Führungen 207g1, 207g2, 207h1, 207h2 gewickelt, deren Abstand dann durch einen piezoelektrischen Aktuator 307g, 307h verändert wird. Dadurch ändert sich auch die Faserlänge. Die Ansteuerung 407g, 407h des Piezo-

25 Aktuators 307g, 307h erfolgt periodisch. Die Steuerspannung des Piezo-Aktuators ist dabei ein Maß für die Faserlänge, also ist die zeitliche Änderung der Steuerspannung ein Maß für die Verlagerungsgeschwindigkeit, und damit für die Frequenz des Detektorsignals. Folglich muss die Auswerteschaltung 147 der Detektoranordnung entsprechend der zeitlichen

30 Änderung der Steuerspannung des Piezo-Aktuators 107g, 107h eingestellt werden; die zeitliche Änderung dieser Spannung ist bei periodischer Ansteuerung proportional zur Steuerungsignal-Amplitude und zur Steuerungsignal-Frequenz. Da in diesen Ausführungsformen keine großen Massen bewegt werden,

35 und Trägheitseffekte daher keine große Rolle spielen, kann

die Ansteuerung 407g, 407h des Piezo-Aktuators 307g, 307h statt sinusoidal auch sägezahn-förmig oder dreieckförmig erfolgen. Besonders bevorzugt ist eine Ansteuerung 407g, 407h, die die aus Eichmessungen zugängliche Antwortfunktion des Piezo-Aktuators 307g, 307h so kompensiert, dass die tatsächliche Verlagerungsgeschwindigkeit der teilreflektierenden Grenzflächen 105g1, 105g2 bzw. 105h, 111h relativ zueinander über einen großen Durchstimmbereich konstant wird.

Ist diese tatsächliche Verlagerungsgeschwindigkeit zudem bekannt, kann der objektseitige Zweig der vorbeschriebenen Ausführungsform mit Faser-Bragg-Gitter 105, teilverspiegelter GRIN-Linse 109 und Piezo-Faserstrecke 107 in der in Figur 5 dargestellten Ausführungsform mit nur einer, kurzkohärenten Lichtquelle 43a eingesetzt werden und dort den nicht-faseroptischen Teil von der Lichtleitfaser 77 bis einschliesslich der Fokussieroptik 54a ersetzen. Diese Kombination ist in Figur 16 dargestellt: Die optische Weglänge l1 zwischen Faser-Bragg-Gitter 105i und teilverspiegelter Oberfläche 111i der GRIN-Linse 109i wird durch den Piezostrecke 107i mit Piezo-Aktuator 307i durch die Ansteuerung 407i periodisch linear variiert, und der einstellbare Bandpass-Filter 73i auf die resultierende Interferenzsignalfrequenz eingestellt.

Ein in Figur 8 schematisch dargestelltes Interferometersystem 41c weist einen ähnlichen Aufbau auf wie das Interferometersystem gemäß Figur 2.

Allerdings sind hier zwei Quellen 43c<sub>1</sub> und 43c<sub>2</sub> vorgesehen, welche jeweils Meßstrahlung 45c<sub>1</sub> bzw. 45c<sub>2</sub> kurzer Kohärenzlänge bereitstellen. Mittels Spiegeln 111 und 113 und einen Strahlteiler 115 werden die Meßstrahlungen 45c<sub>1</sub> und 45c<sub>2</sub> nach deren Kollimierung mittels Kollimationsoptiken 47c<sub>1</sub>

bzw. 47c<sub>2</sub> zu einem gemeinsamen Strahl 48c überlagert. Dieser durchsetzt einen Strahlteiler 49c und einen Glaskörper 51c mit einander gegenüberliegenden Grenzflächen 52c und 53c und wird sodann durch eine Kollimationsoptik 54c kollimiert. Da sich die Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  der von den Quellen 43c<sub>1</sub> bzw. 43c<sub>2</sub> bereitgestellten Strahlung unterscheiden, erfolgt die Fokussierung durch die Fokussieroptik 54c in einem Fokuspunkt 39c<sub>1</sub> für die Strahlung der Wellenlänge  $\lambda_1$  und in einem Fokuspunkt 39c<sub>2</sub> für die Strahlung der Wellenlänge  $\lambda_2$ . Die Fokuspunkte 39c<sub>1</sub> und 39c<sub>2</sub> sind in z-Richtung mit einem Abstand voneinander angeordnet.

Von einer Objektoberfläche, die in einem Bereich um die Fokuspunkte 39c<sub>1</sub> und 39c<sub>2</sub> angeordnet ist, zurückgeworfene Strahlung wird wiederum durch die Fokussieroptik 54c kollimiert und nach Durchlaufen des Glaskörpers 51c von dem Strahlteiler 49c umgelenkt, aus welchem sie als Strahl 57c austritt. Ein Strahlteiler 117 teilt diesen Strahl in Teilstrahlen 57c<sub>1</sub> und 57c<sub>2</sub>, welche durch Kollimationsoptiken 59c<sub>1</sub> bzw. 59c<sub>2</sub> auf Detektoren 61c<sub>1</sub> bzw. 61c<sub>2</sub> fokussiert werden. Der Detektor 61c<sub>1</sub> ist zur Detektion der von dem Objekt zurückgeworfenen Strahlung der Wellenlänge  $\lambda_1$  ausgelegt, genauso wie ein Bandpaßfilter 73c<sub>1</sub> für von dem Detektor 61c<sub>1</sub> bereitgestellte Meßsignale ausgelegt ist. Entsprechend ist der Detektor 61c<sub>2</sub> für die Detektion der Strahlung mit der Wellenlänge  $\lambda_2$  ausgelegt, genauso wie der nachfolgende Bandpaßfilter 73c<sub>2</sub> für die von dem Detektor 61c<sub>2</sub> bereitgestellten Signale. Dem Bandpaßfilter 73c<sub>1</sub> bzw. 73c<sub>2</sub> sind wiederum die Modulationsschaltungen 74c<sub>1</sub> und 74c<sub>2</sub> nachgeschaltet. Die Demodulationsschaltung 74c<sub>1</sub> registriert ein Maximum einer Meßkurve 75c<sub>1</sub> dann, wenn die Objektoberfläche in einem Bereich um den Fokuspunkt 39c<sub>1</sub> für die Wellenlänge  $\lambda_1$  angeordnet ist, und die Demodulationsschaltung 74c<sub>2</sub> registriert ein Maximum ihrer Meßkurve 75c<sub>2</sub> dann, wenn die Objektoberfläche

in einem Bereich nahe dem Fokuspunkt 39c<sub>2</sub> für die Wellenlänge  $\lambda_2$  angeordnet ist. Die von den Demodulationsschaltungen 74c<sub>1</sub>, 74c<sub>2</sub> ausgegebenen Meßkurven 75c<sub>1</sub> bzw. 75c<sub>2</sub> sind in Abhängigkeit von dem Ort der Objektoberfläche in z-Richtung in Figur 9 als Graphen schematisch dargestellt.

Durch Auswerten einer zeitlichen Reihenfolge, mit der die Maxima der Kurven 75c<sub>1</sub> und 75c<sub>2</sub> auftreten, ist es somit möglich, eine Richtung einer Relativgeschwindigkeit zwischen dem Meßkopf und dem Objekt zu ermitteln.

Bei dem Interferometersystem 41c ist es ebenfalls möglich, der Meßstrahlung eine Strahlung großer Kohärenzlänge zu überlagern, wie dies anhand der Figuren 6 und 7 erläutert wurde.

Es ist dann weiter möglich, die Bandpaßfilter 73c<sub>1</sub> und 73c<sub>2</sub> hinsichtlich ihres Frequenzbandes variabel auszulegen, wobei diese das Frequenzband dann immer so einstellen können, daß dieses optimal auf einen Absolutwert der Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt eingestellt ist.

In Figur 10 sind der Glaskörper 51c und die Fokussieroptik 54c des Interferometersystems 41c im Detail dargestellt.

Ein Durchmesser des Strahls 48c beträgt 4 mm. Der Glaskörper 51c mit seinen teilreflektierenden Endflächen 52c und 53c weist eine Länge  $l_1 = 60,9973$  mm auf. Der Glaskörper 51c ist aus einem Glas der Type SF6 erhältlich von der Firma SCHOTT, gefertigt.

Die Fokussieroptik 54c ist als ein Kittglied aus zwei Linsengläsern 122 und 124 gefertigt, wobei die Linse 122 aus einem Glas des Typs BK7, erhältlich von der Firma SCHOTT,

gefertigt ist, und die Linse 124 aus einem Glas des Typs SF6.

Eine dem Glaskörper 51c zuweisende Oberfläche 121 der Linse  
5 122 weist einen Krümmungsradius von  $r_1 = 31,25$  mm auf und  
ist mit ihrem Scheitelpunkt mit einem Abstand von  
 $d_1 = 2,24$  mm in Luft von der Grenzfläche 53c des Glaskörpers  
51c angeordnet. Eine den Linsen 122 und 124 gemeinsame  
Grenzfläche 123 weist einen Krümmungsradius  $r_2 = -42,313$  mm  
10 auf und ist mit ihrem Scheitelpunkt mit einem Abstand  
 $d_2 = 3,00$  mm von dem Scheitelpunkt der Fläche 121 angeord-  
net. Eine von dem Glaskörper 51c wegweisende Oberfläche 125  
der Linse 124 ist als Planfläche ausgebildet und weist von  
dem Scheitelpunkt der Fläche 123 einen Abstand von  
15  $d_3 = 3,00$  mm auf.

Für Licht der Wellenlänge  $\lambda_1 = 630$  nm beträgt eine Fokus-  
länge  $f_1$  der Fokussieroptik 54c 95 mm, und für Licht einer  
Wellenlänge  $\lambda_2 = 850$  nm beträgt die Fokusslänge der Fokus-  
20 sieroptik 54c 94 mm. Damit sind die Fokuspunkte 39c<sub>1</sub> und  
39c<sub>2</sub> mit einem Abstand von einem Millimeter voneinander an-  
geordnet.

Bei dem anhand der Figuren 8, 9 und 10 erläuterten Inter-  
25 ferometersystem, welches zwei Lichtquellen mit Wellenlängen  
 $\lambda_1 = 630$  nm und  $\lambda_2 = 850$  nm aufweist, sind somit zwei Fokus-  
punkte der Meßstrahlung bereitgestellt, welche einen Ab-  
stand von einem Millimeter in Strahlrichtung voneinander  
aufweisen.

30 In Figur 11 sind ein Glaskörper 51d und eine Fokussieroptik  
54d für ein Interferometersystem gezeigt, welches drei  
Weißlichtquellen mit Wellenlängen  $\lambda_1 = 630$  nm,  $\lambda_2 = 850$  nm  
und  $\lambda_3 = 1300$  nm aufweist.

Die Kombination aus Glaskörper 51d und Fokussieroptik 54d gemäß Figur 11 ist einsetzbar in einem Interferometersystem, welches dem Interferometersystem gemäß Figur 8 ähnlich ist, welches allerdings eine dritte Lichtquelle mit  $\lambda_3 = 1300 \text{ nm}$  aufweist, deren Strahlung dem Licht der beiden anderen Lichtquellen überlagert ist.

Der Glasblock 51d ist aus zwei aneinander gekitteten Teilblöcken 131 und 132 zusammengesetzt, von denen der Teilblock 131 eine teilreflektierende Grenzfläche 52d des Interferometersystems bereitstellt und der andere Teilblock 132 eine der Grenzfläche 52d gegenüberliegende und dem Objekt zuweisende Grenzfläche 53d bereitstellt. Der Teilblock 131 ist aus einem Glasmaterial des Typs Lasf18a, erhältlich von der Firma SCHOTT, gefertigt und weist eine Länge von  $d_1 = 24,3 \text{ mm}$  auf, und der andere Teilblock 132 ist aus einem Glasmaterial des Typs Lak31, erhältlich von der Firma SCHOTT, gefertigt und weist eine Länge von  $d_2 = 75,13 \text{ mm}$  auf.

Die Fokussieroptik 54d ist als ein Kittglied aus zwei Linsen 122d und 124d zusammengesetzt. Eine dem Glasblock 51d zuweisende Oberfläche 121d der Linse 122d weist einen Krümmungsradius  $R_1 = -14,9 \text{ mm}$  auf und ist mit ihrem Scheitel mit einem Abstand von  $d_3 = 31,83 \text{ mm}$  von der Grenzfläche 53d des Teilblocks 132 angeordnet. Eine den Linsen 122d und 124d gemeinsame Grenzfläche 123d weist einen Krümmungsradius  $R_2 = -7,23 \text{ mm}$  auf und ist mit ihrem Scheitel mit einem Abstand  $d_4 = 5,0 \text{ mm}$  von dem Scheitel der Fläche 121 angeordnet, wobei die Linse 122 aus einem Material des Typs BAF, erhältlich von SCHOTT, gefertigt ist. Eine von dem Glasblock 51d wegweisende Oberfläche 125d der Linse 124 weist einen Krümmungsradius  $R_3 = -11,87 \text{ mm}$  auf und ist mit ihrem

Scheitel mit einem Abstand  $d_5 = 5,0$  mm von dem Scheitel der Fläche 123d angeordnet, wobei die Linse 124d aus einem Material des Typs SF64a, erhältlich von SCHOTT, gefertigt.

5 Die Fokussieroptik 54d stellt für die Wellenlänge  $\lambda_1 = 630$  nm eine Fokuslänge  $f_1 = 126$  mm bereit, für die Wellenlänge  $\lambda_2 = 850$  nm eine Fokuslänge  $f_2 = 125$  mm, und für die Wellenlänge  $\lambda_3 = 1300$  nm eine Fokuslänge  $f_3 = 124$  mm.

10 Somit stellt die Fokussieroptik 54d drei Fokuspunkte 39d<sub>1</sub>, 39d<sub>2</sub> und 39d<sub>3</sub> für die Strahlungen der Wellenlängen  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  und  $\lambda_3$  bereit, welche in Strahlrichtung nacheinander mit einem Abstand von jeweils einem Millimeter voneinander angeordnet sind.

15

Ist das Interferometersystem 41d, welches teilweise in Figur 11 dargestellt ist, an einem Koordinatenmeßgerät gemäß Figur 1 montiert, so ist es möglich, den Meßkopf einem zu vermessenden Objekt soweit anzunähern bis eine Anordnung  
20 der Objektoberfläche in der Nähe des mittleren Fokuspunkts 39d<sub>2</sub> registriert wird. Sodann erfolgt eine Bewegung des Meßkopfes lateral entlang der Objektoberfläche, das heißt quer zur Richtung des Strahls 48d, und eine Bewegung des Meßkopfes erfolgt dann in -z-Richtung, das heißt in Figur 1  
25 nach unten, wenn eine Anordnung der Objektoberfläche in einem Bereich nahe dem Fokuspunkt 39d<sub>1</sub> registriert wird, und sie erfolgt in umgekehrte z-Richtung, das heißt nach oben, wenn eine Anordnung der Objektoberfläche in einer Nähe des Fokuspunkts 39d<sub>3</sub> registriert wird.

30

Auf diese Weise ist es einfach möglich, die Oberfläche des Objekts abzutasten und deren Koordinaten mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes gemäß Figur 1 zu ermitteln.



Ein in Figur 12 schematisch dargestelltes Interferometersystem 41e weist einen ähnlichen Aufbau auf wie das in Figur 2 gezeigte Interferometersystem.

5 Im Unterschied hierzu ist allerdings ein Strahlteiler 49e zur Zuführung von Detektionsstrahlung zu einem Detektor 61e mit einem Glaskörper 51e zur Bereitstellung der beiden mit Abstand  $l_1$  voneinander angeordneten Grenzflächen 52e und 53e des Interferometersystems 41e vereinigt, das heißt eine  
10 teilreflektierende Fläche 49e des Strahlteilers ist innerhalb des Glaskörpers 51e angeordnet.

Bei der Ausführungsform gemäß Figur 6 sind zwei separate Detektoren 61b und 101 zur Detektion der kurzkohärenten  
15 Strahlung der Quelle 43b bzw. zur Detektion der langkohärenten Strahlung der Quelle 91 vorgesehen. Es ist jedoch auch möglich, für beide Strahlung einen gemeinsamen Detektor vorzusehen, dessen Detektionssignal parallel der Frequenzanalyseschaltung 103 und dem Bandpaßfilter 37b zugeführt wird.  
20

Ebenso ist es möglich, bei der in Figur 8 dargestellten Ausführungsform einen gemeinsamen Detektor für die Strahlungen der Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  bereitzustellen und dessen  
25 Detektionssignal parallel den beiden Bandpaßfiltern 73c<sub>1</sub> und 73c<sub>2</sub> zuzuführen.

Ferner ist es möglich, bei der Ausführungsform gemäß Figuren 8, 9 und 10 sowie bei der Ausführungsform gemäß Figur  
30 11 die mehreren Lichtquellen für die Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  bzw.  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  und  $\lambda_3$  in einer gemeinsamen Lichtquelle mit änderbarer Wellenlänge zu integrieren, deren Emissionswellenlänge dann abwechselnd auf die Werte  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  und  $\lambda_3$  eingestellt wird.

Bei der anhand der Figur 5 beschriebenen Ausführungsform wird eine der Grenzflächen des Grenzflächenpaares mittels eines Aktuators quer zur Orientierung der Grenzfläche verlagert. Es ist jedoch ebenfalls möglich, beide Grenzflächen des Grenzflächenpaares gemeinsam zu verlagern, genauso wie es möglich ist, den Glaskörper in den Ausführungsformen gemäß Figur 2 ff. in Richtung quer zur Orientierung der Grenzflächen zu verlagern.

Die vorliegende Erfindung ermöglicht, auch in engen Kanälen, z.B. Bohrungen, hochgenau zu messen, insbesondere axial. Ferner kann der Fokus und damit die Lateralauflösung wesentlich kleiner gestaltet werden als bei einem konventionellen taktilen Taster.

Die vorbeschriebenen Messanordnungen und -verfahren können aber außer bei der Werkstückvermessung auch bei jeder anderen OCT-Anwendung zum Einsatz kommen.

Zusammenfassend wird ein Interferometersystem insbesondere zur Verwendung für ein Koordinatenmeßgerät vorgeschlagen, wobei das Interferometersystem in einem Beleuchtungsstrahlengang ein Paar von mit Abstand voneinander angeordneten Grenzflächen aufweist und eine einem Objekt zuweisende Grenzfläche des Grenzflächenpaares in einem Detektionsstrahlengang angeordnet ist, wobei in dem Detektionsstrahlengang ferner eine Strahlungsweiche und ein Detektor angeordnet sind. Ferner wird ein Interferometersystem, insbesondere der vorangehend geschilderten Art, vorgeschlagen, welches ein Geschwindigkeitsmeßsystem zur Erfassung einer Relativgeschwindigkeit zwischen dem Meßkopf und dem Objekt aufweist, wobei ein Frequenzfilter des Interferometersystems in Abhängigkeit von der Relativgeschwindigkeit eingestellt wird.

5

**Patentansprüche**

1. Interferometersystem mit einem Meßkopf (36) zum Senden von Beleuchtungsstrahlung (48) auf ein Objekt (9) und zum Empfang von von dem Objekt (9) zurückgeworfener Detektionsstrahlung (57), wobei eine Anordnung des Meßkopfes (36) mit einem Arbeitsabstand von dem Objekt (9) vorgesehen ist, und wobei das Interferometersystem (41) eine erste Strahlungsquelle (43) zur Bereitstellung von Strahlung (45) mit einer vorbestimmten ersten Kohärenzlänge, welche kleiner ist als der Arbeitsabstand, ein Paar von mit Abstand voneinander angeordneten teilreflektierenden Grenzflächen (52, 53) und einen Detektor (61) umfaßt, wobei
- eine erste Grenzfläche (53) des Grenzflächenpaares (52, 53) in einem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und dem Objekt (9) angeordnet ist,
- eine zweite Grenzfläche (52) des Grenzflächenpaares (52, 53) in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und der ersten Grenzfläche (53) angeordnet ist, und
- die erste Grenzfläche (53) in einem Detektionsstrahlengang zwischen dem Objekt (9) und dem Detektor (61) angeordnet ist.
2. Interferometersystem nach Anspruch 1, ferner umfassend eine Strahlungsweiche (49), welche in dem

Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und der ersten Grenzfläche (53) angeordnet ist, und in dem Detektionsstrahlengang zwischen der ersten Grenzfläche (53) und dem Detektor (6) angeordnet ist.

5

3. Interferometersystem nach Anspruch 2, wobei die Strahlungsweiche (49) in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und der zweiten Grenzfläche (52) angeordnet ist.

10

4. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei wenigstens die erste Grenzfläche (53) eine Komponente des Meßkopfes (36) ist und wobei, bei Anordnung des Meßkopfes (36) mit dem Arbeitsabstand von dem Objekt, eine erste optische Weglänge ( $l_2$ ) zwischen der ersten Grenzfläche (53) und dem Objekt (9) im wesentlichen gleich einer zweiten optischen Weglänge ( $l_1$ ) zwischen den beiden Grenzflächen (52, 53) ist.

20

5. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die erste Kohärenzlänge kleiner als das 0,3fache des Arbeitsabstands ist, insbesondere kleiner als das 0,07fache und weiter bevorzugt kleiner als das 0,01fache des Arbeitsabstands ist.

25

6. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Meßkopf (36) eine Fokussieroptik (54) zur Fokussierung der von der ersten Strahlungsquelle (43) bereitgestellten Strahlung (45) in einem ersten Beleuchtungsstrahlungsfokus (39) aufweist, welcher mit einem Abstand von dem Meßkopf (36) angeordnet ist, der im wesentlichen dem Arbeitsabstand entspricht.

30

7. Interferometersystem nach Anspruch 6, wobei die von der ersten Strahlungsquelle (43c<sub>1</sub>) bereitgestellte Strahlung (45c<sub>1</sub>) eine erste Wellenlänge ( $\lambda_1$ ) aufweist und das Interferometersystem (41c) ferner wenigstens eine zweite Strahlungsquelle (43c<sub>2</sub>) zur Bereitstellung von Strahlung (45c<sub>2</sub>) einer zweiten Wellenlänge ( $\lambda_2$ ) umfaßt, welche in dem Beleuchtungsstrahlengang der von der ersten Strahlungsquelle (43c<sub>1</sub>) bereitgestellten Strahlung (45c<sub>1</sub>) überlagert ist.
8. Interferometersystem nach Anspruch 7, wobei die Fokussieroptik (45c) die von der zweiten Strahlungsquelle (43c<sub>2</sub>) bereitgestellte Strahlung (45c<sub>2</sub>) in einem zweiten Beleuchtungsstrahlungsfokus (39c<sub>2</sub>) fokussiert, welcher ebenfalls mit einem Abstand von dem Meßkopf angeordnet ist, der im wesentlichen dem Arbeitsabstand entspricht, allerdings von dem ersten Beleuchtungsstrahlungsfokus (39c<sub>1</sub>) einen Abstand aufweist.
9. Interferometersystem nach Anspruch 7 oder 8, wobei der Detektor zur Detektion der von der ersten und der zweiten Strahlungsquelle (43c<sub>1</sub>, 43c<sub>2</sub>) bereitgestellten Strahlung (45c<sub>1</sub>, 45c<sub>2</sub>) jeweils verschiedene Teildetektoren (61c<sub>1</sub>, 61c<sub>2</sub>) umfaßt.
10. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Meßkopf (36a) einen Antrieb (85) aufweist, um wenigstens eine Grenzfläche (53a) des Grenzflächenpaares (52a, 53a) relativ zu dem Meßkopf (36a) zu verlagern.
11. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Grenzflächenpaar durch einen transparenten Körper (51) mit zwei planparallelen

einander gegenüberliegenden Oberflächen (52, 53) bereitgestellt ist.

5 12. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Grenzflächenpaar (52a, 52b) durch zwei mit Abstand voneinander angeordnete transparente Platten (81, 82) bereitgestellt ist.

10 13. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Grenzflächenpaar durch zwei mit Abstand voneinander in einer Glasfaser angeordnete teil-reflektierende Strukturen bereitgestellt ist.

15 14. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei der Meßkopf relativ zu dem Objekt mit einer Verlagerungsgeschwindigkeit verlagerbar ist, und wobei das Interferometersystem ferner eine erste Auswerteschaltung umfaßt, welche dazu ausgebildet ist, ein von dem Detektor bereitgestelltes Meßsignal in  
20 Abhängigkeit von der Verlagerungsgeschwindigkeit auszuwerten.

25 15. Interferometersystem nach Anspruch 14, wobei die erste Auswerteschaltung einen Bandpaßfilter umfaßt, dessen Mittenfrequenz in Abhängigkeit von der Verlagerungsgeschwindigkeit einstellbar ist.

30 16. Interferometersystem, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 15, mit einem Meßkopf (36b) zum Senden von Strahlung auf ein Objekt (9b) und zum Empfang von von dem Objekt (9b) zurückgeworfener Strahlung, wobei eine Anordnung des Meßkopfes (36b) mit einem Arbeitsabstand ( $l_2$ ) von dem Objekt (9b) vorgesehen ist,

wobei das Interferometersystem (41b) einen ersten Strahlengang für Strahlung (45b) einer vorbestimmten kurzen ersten Kohärenzlänge aufweist, wobei in dem ersten Strahlengang der Reihe nach eine erste Strahlungsquelle (43b) zur Bereitstellung der Strahlung (45b) mit der ersten Kohärenzlänge, eine dem Objekt (9b) nächstliegende Komponente (54b) des Meßkopfes (36b), das Objekt (9b), die dem Objekt (9b) nächstliegende Komponente (54b) des Meßkopfes (36b) und ein erster Detektor (61b) angeordnet sind,

wobei das Interferometersystem einen zweiten Strahlengang für Strahlung (92) einer vorbestimmten langen dritten Kohärenzlänge aufweist, wobei in dem zweiten Strahlengang der Reihe nach eine dritte Strahlungsquelle (91) zur Bereitstellung der Strahlung (92) mit der dritten Kohärenzlänge, die dem Objekt (9b) nächstliegende Komponente (54b) des Meßkopfes (36b), das Objekt, die dem Objekt (9b) nächstliegende Komponente (54b) des Meßkopfes (36b) und ein zweiter Detektor (101) angeordnet sind,

und wobei das Interferometersystem ferner eine erste Auswerteschaltung umfaßt, welche dazu ausgebildet ist, ein von dem ersten Detektor bereitgestelltes erstes Meßsignal in Abhängigkeit von einem von dem zweiten Detektor bereitgestellten zweiten Meßsignal auszuwerten.

17. Interferometersystem nach Anspruch 16, ferner umfassend eine zweite Auswerteschaltung (103) für das von dem zweiten Detektor (101) bereitgestellte zweite Meßsignal und zur Bereitstellung eines Modulationsfrequenz ( $f_2$ ) des von dem zweiten Detektor

(101) bereitgestellten zweiten Meßsignals repräsentierenden Frequenzsignals, wobei die erste Auswerteschaltung dazu ausgebildet ist, das von dem ersten Detektor bereitgestellte erste Meßsignal in  
5 Abhängigkeit von dem Frequenzsignal auszuwerten.

18. Interferometersystem nach Anspruch 16 oder 17, wobei die erste Auswerteschaltung einen Bandpaßfilter umfaßt, dessen Mittenfrequenz in Abhängigkeit von dem  
10 von dem zweiten Detektor bereitgestellten zweiten Meßsignal einstellbar ist.

19. Interferometersystem nach Anspruch 18, wobei eine innerhalb eines Frequenzbands des Bandpaßfilters angeordnete Frequenz  $f_1$  die Gleichung  
15

$$f_1 = \frac{\lambda_3}{\lambda_1} \cdot f_2$$

erfüllt, wobei

$f_2$  eine Modulationsfrequenz ( $f_2$ ) des von dem  
20 zweiten Detektor (101) ausgegebenen zweiten Meßsignals ist,

$\lambda_1$  eine Wellenlänge der Strahlung (45b) der ersten Kohärenzlänge ist und

$\lambda_3$  eine Wellenlänge der Strahlung (92) der dritten  
25 Kohärenzlänge ist.

20. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 16 bis 19, wobei der erste und der zweite Strahlengang zwischen dem Meßkopf (36b) und dem Objekt (9b)  
30 einander überlagert sind.

21. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 16 bis 20, ferner umfassend eine in dem ersten Strahlengang



zwischen einer dem Objekt (9b) nächstliegenden  
Komponente (54b) des Meßkopfes (36b) und dem ersten  
Detektor (61b) und in dem zweiten Strahlengang  
zwischen der dem Objekt (9b) nächstliegenden  
5 Komponente (54b) des Meßkopfes (36b) und dem zweiten  
Detektor (101) angeordnete Strahlweiche (97), wobei  
der erste und der zweite Strahlengang zwischen der dem  
Objekt (9b) nächstliegenden Komponente (54b) des  
Meßkopfes (36b) und der Strahlweiche (97) einander  
10 überlagert sind.

22. Meßvorrichtung, umfassend:

eine Plattform (7) zur Anbringung eines Objekts (9),

15 das Interferometersystem (41) nach einem der Ansprüche  
1 bis 21,

eine den Meßkopf des Interferometersystems tragende  
20 Verlagerungsmechanik zur Verlagerung des Meßkopfes  
(36) relativ zu der Plattform (7), und

eine Ausgabeschnittstelle, zur Bereitstellung eines  
25 eine Oberflächenkoordinate des Objekts relativ zu der  
Plattform repräsentierenden Positionssignals.

23. Verfahren zum Positionieren eines Meßkopfes mit einem  
vorbestimmten Arbeitsabstand von einem Objekt,  
umfassend:

30 Bereitstellen eines Interferometersystems, welches ein  
Abstandssignal bereitstellt, welches anzeigt, ob der  
Meßkopf mit einem Abstand von dem Objekt angeordnet

ist, der im wesentlichen gleich dem Arbeitsabstand ist, oder nicht, und

Bereitstellen eines Geschwindigkeitsmeßsystems, welches ein Geschwindigkeitssignal bereitstellt, welches eine Relativgeschwindigkeit zwischen dem Objekt und dem Meßkopf repräsentiert,

wobei das Bereitstellen des Abstandssignals in Abhängigkeit von dem Geschwindigkeitssignal erfolgt.

24. Verfahren nach Anspruch 23, wobei das Bereitstellen des Abstandssignals eine Frequenzfilterung eines von einem Detektor des Interferometersystems bereitgestellten Meßsignals umfaßt und die Frequenzfilterung in Abhängigkeit von dem Geschwindigkeitssignal erfolgt.

25. Verfahren nach Anspruch 24, wobei die Frequenzfilterung eine Bandpaßfilterung umfaßt.

26. Weißlichtinterferometer, umfassend:  
eine Weißlichtquelle, einen Lichtdetektor, einen Bandpaßfilter für ein von dem Lichtdetektor bereitgestelltes Meßsignal, und eine Eingabeschnittstelle,  
wobei eine Mittenfrequenz des Bandpaßfilters in Abhängigkeit von einem über die Eingabeschnittstelle zugeführten Frequenzsignal änderbar ist.

27. Weißlichtinterferometer nach Anspruch 26, ferner umfassend eine Geschwindigkeitsmeßschaltung oder/und eine Treiberschaltung für einen Aktuator, welche mit ihrer Ausgabeschnittstelle an die Eingabeschnittstelle angeschlossen sind.

1/11

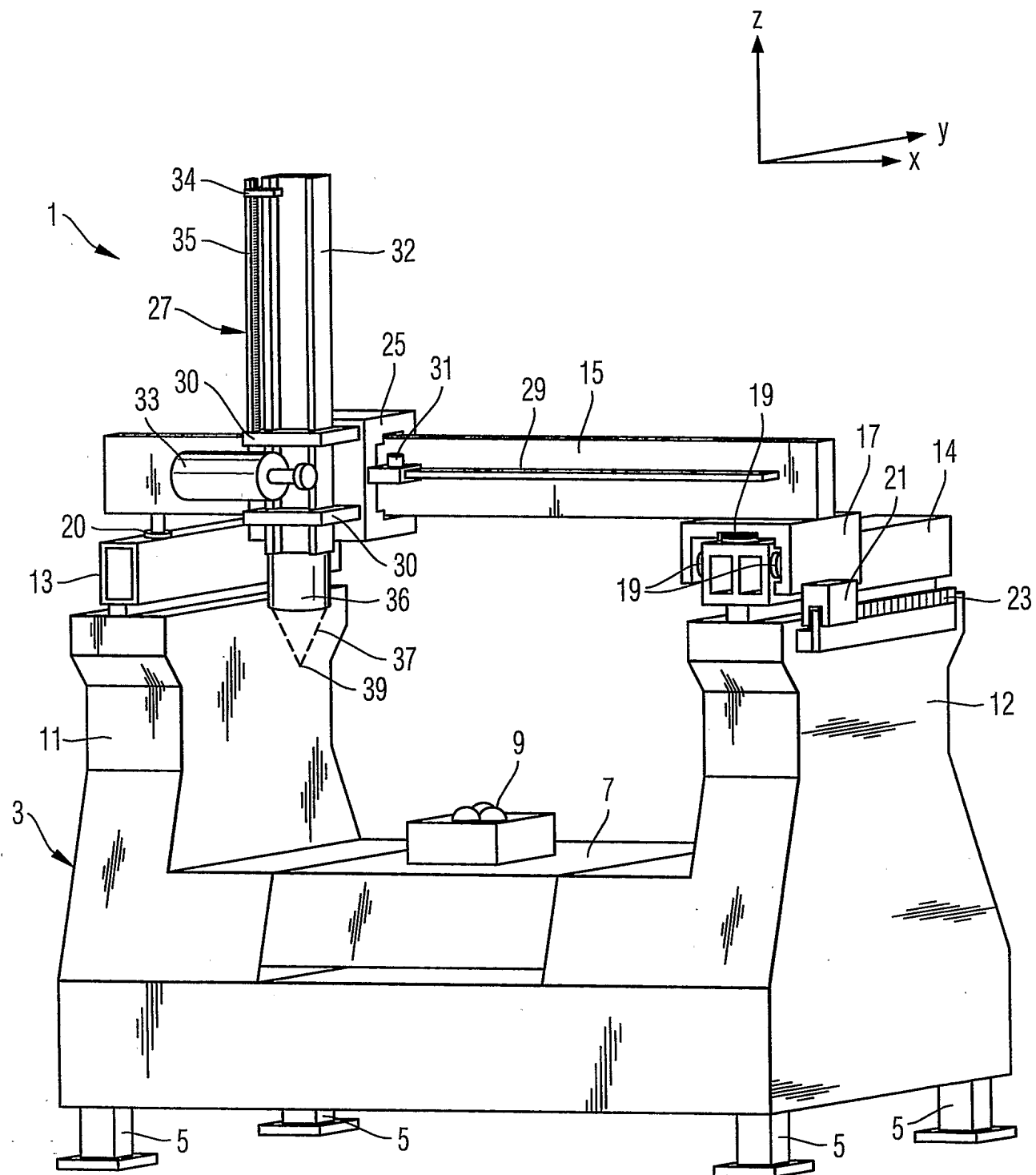


Fig. 1

2/11

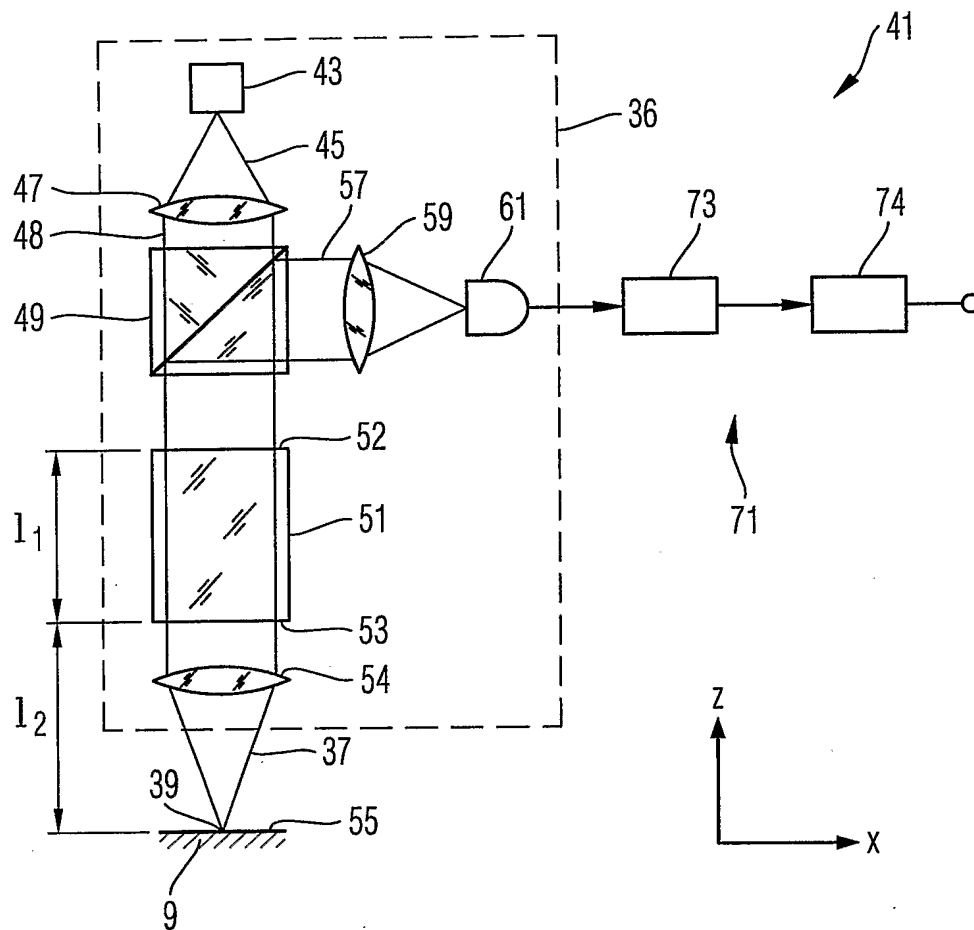


Fig. 2

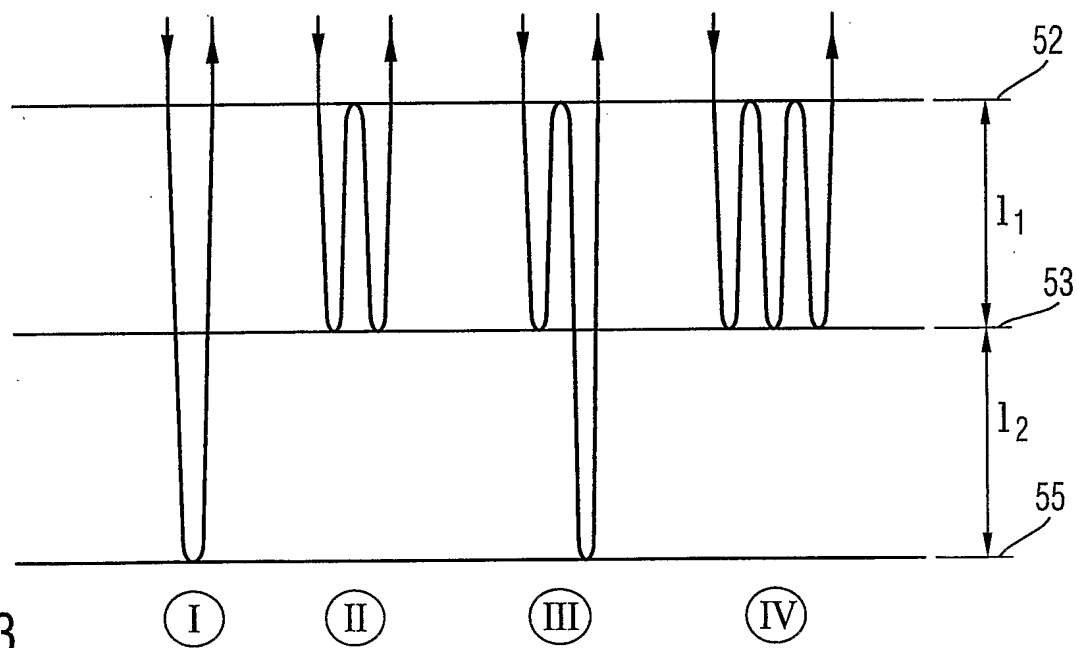


Fig. 3

3/11

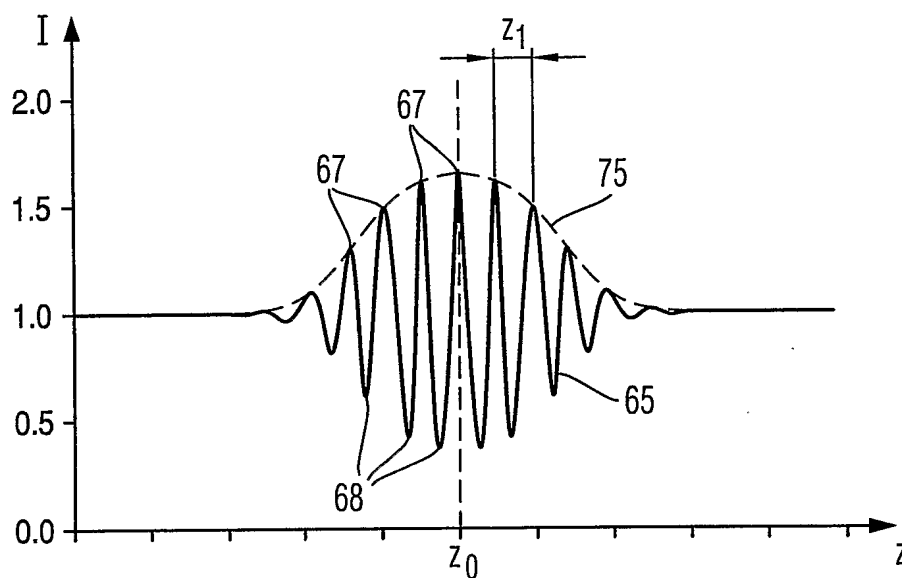


Fig. 4

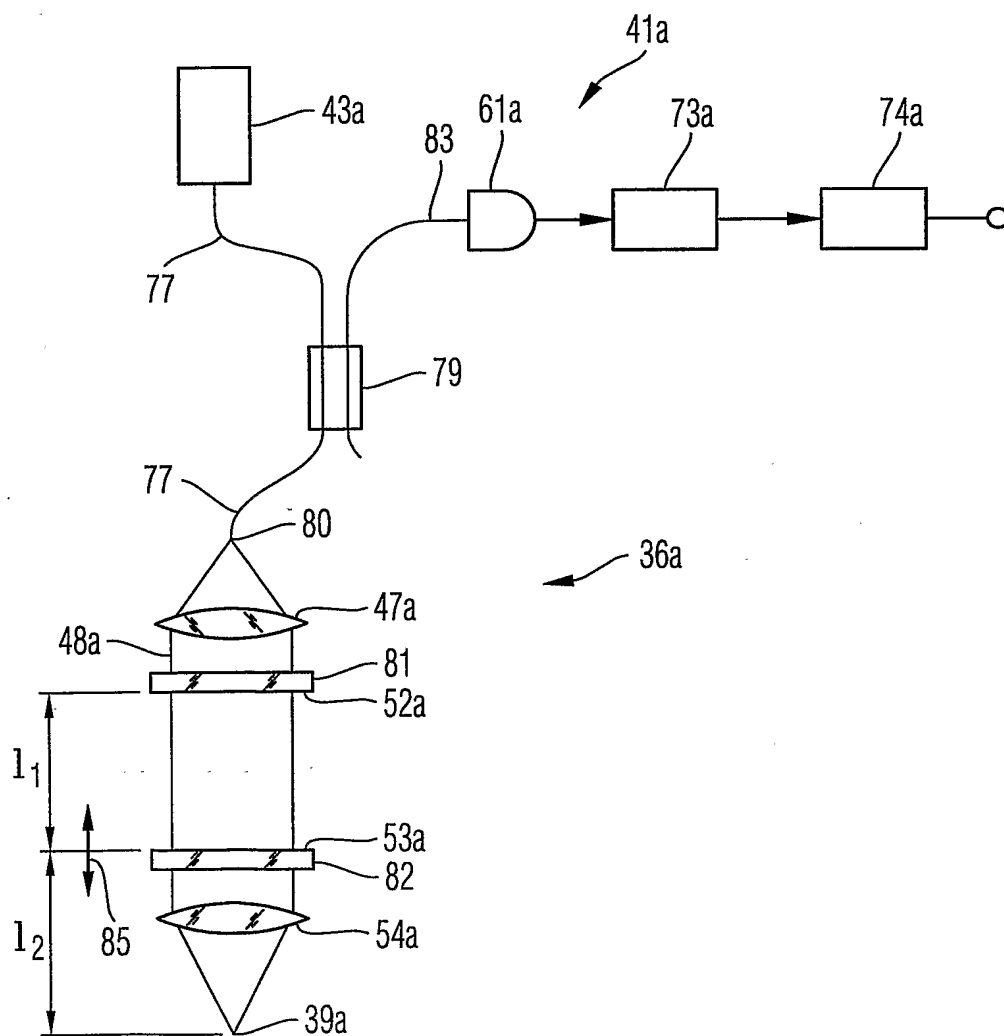


Fig. 5

4/11

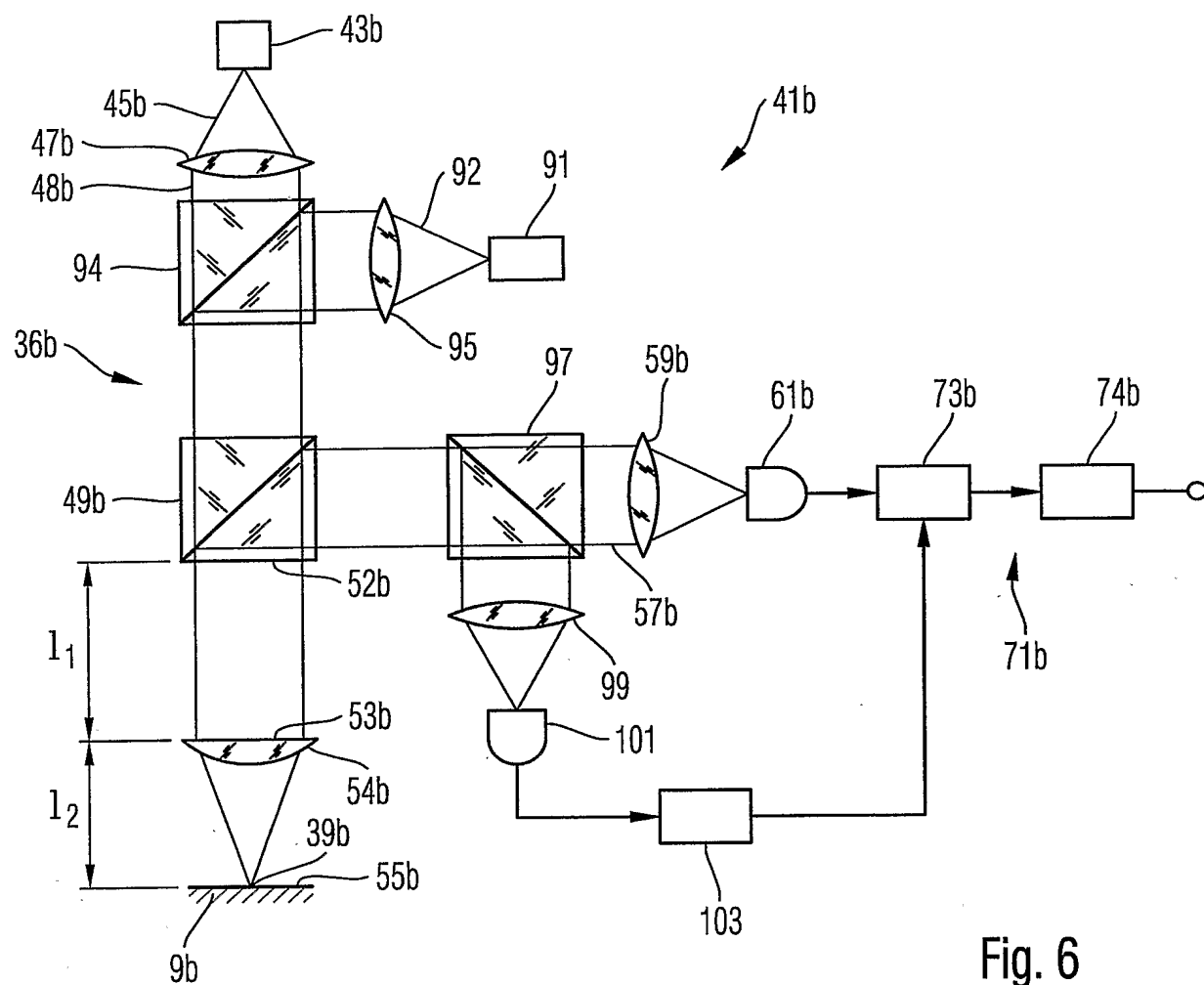


Fig. 6

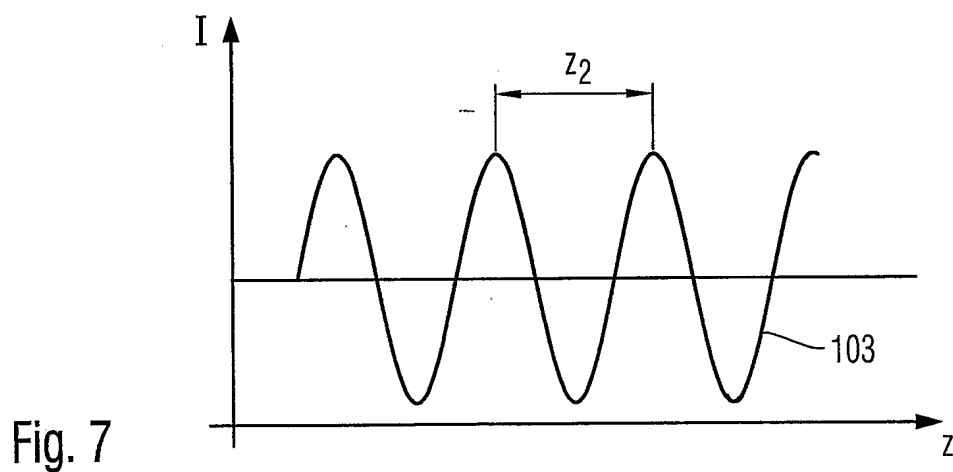


Fig. 7

5/11

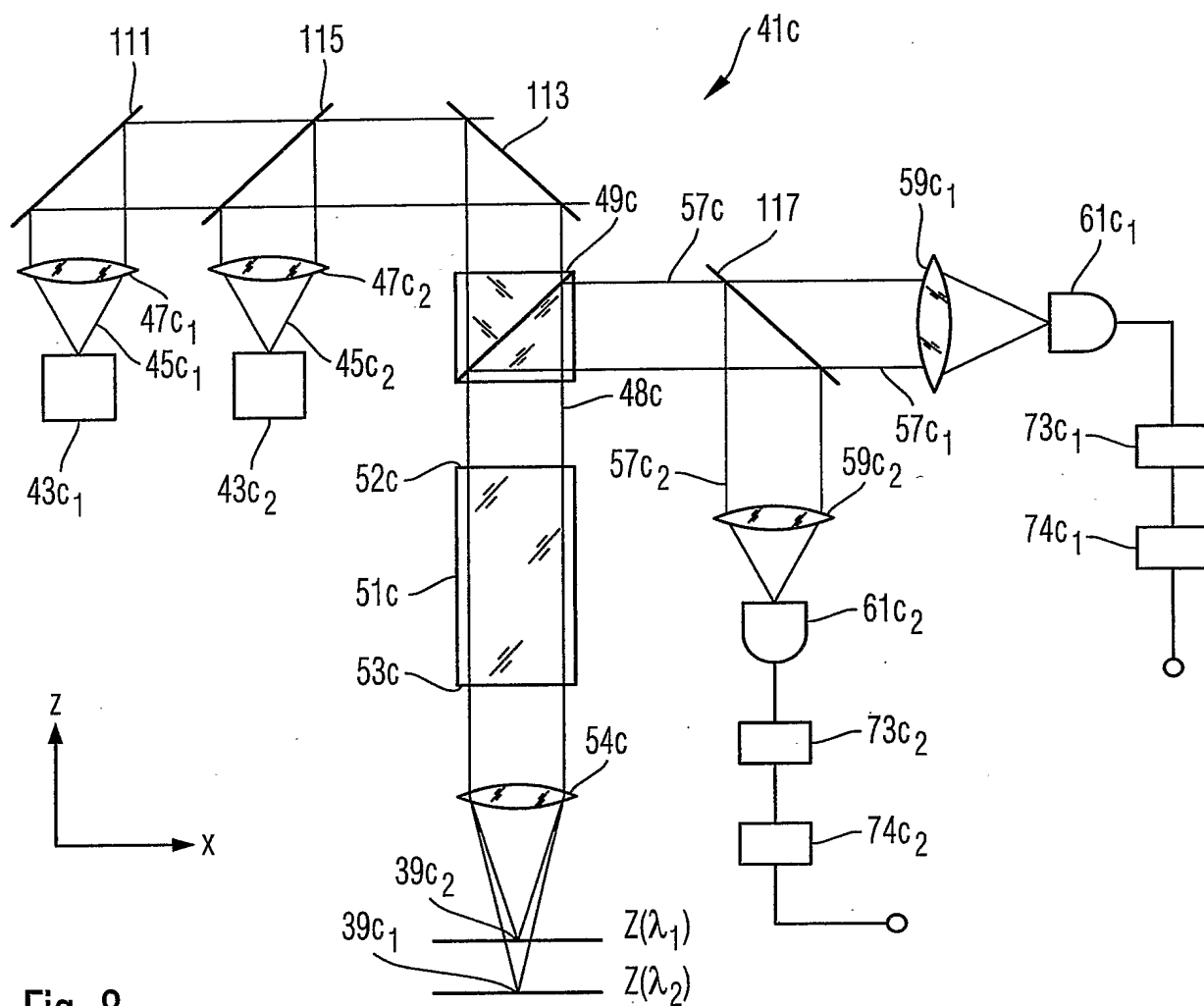


Fig. 8

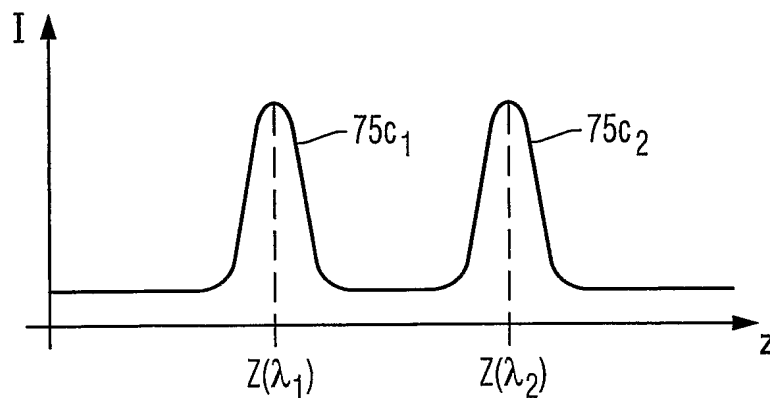
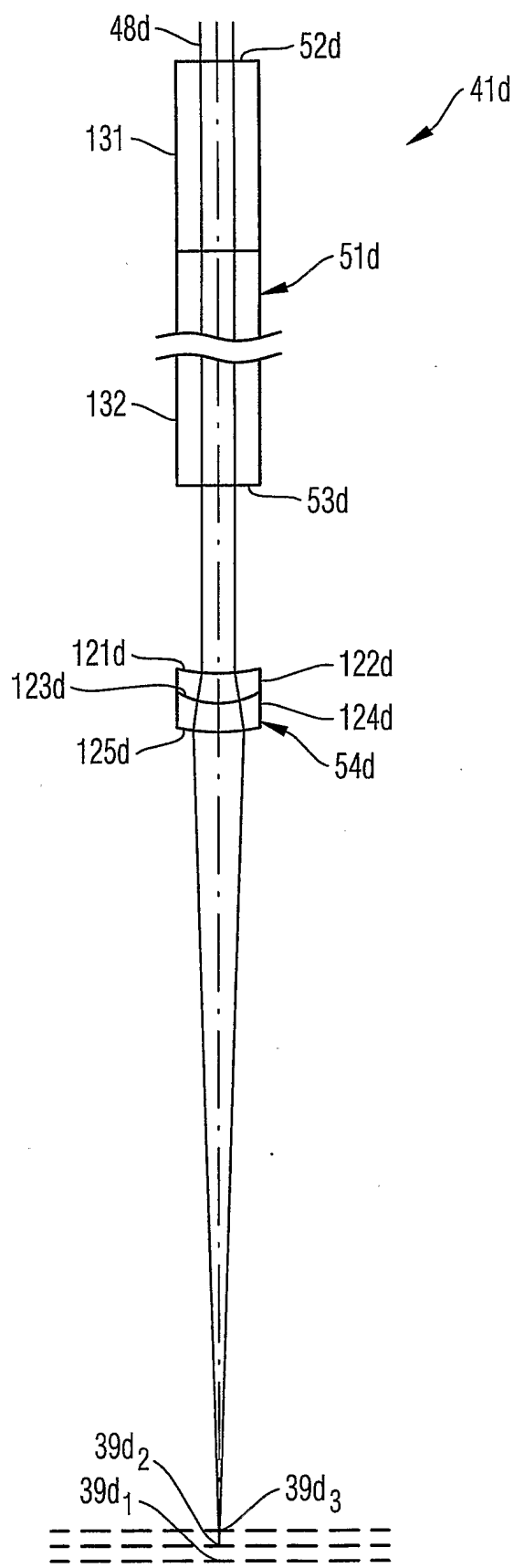
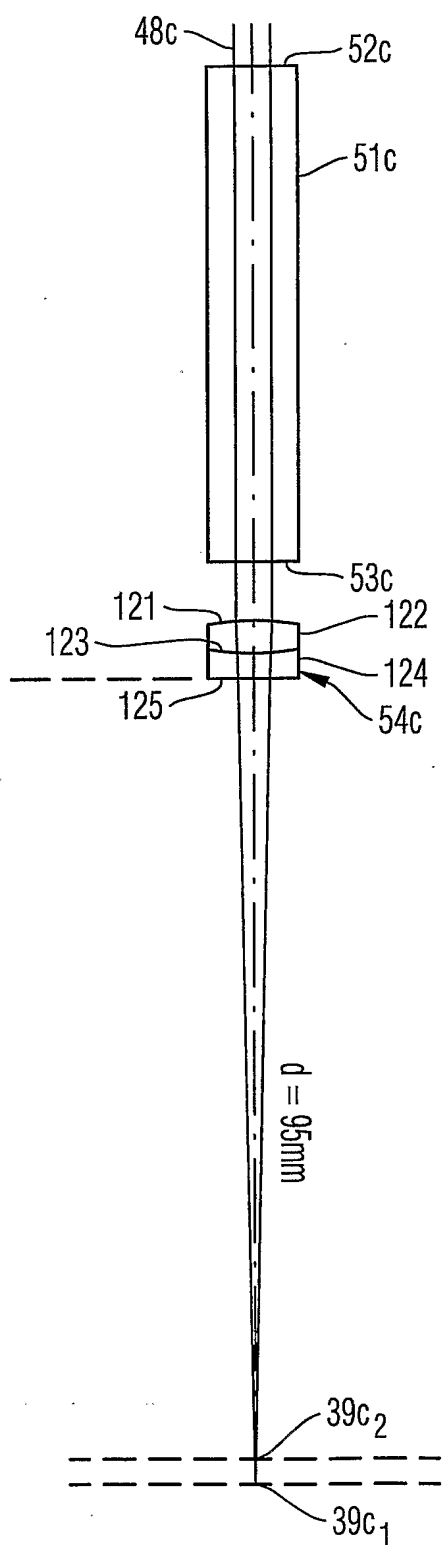


Fig. 9

6/11





7/11

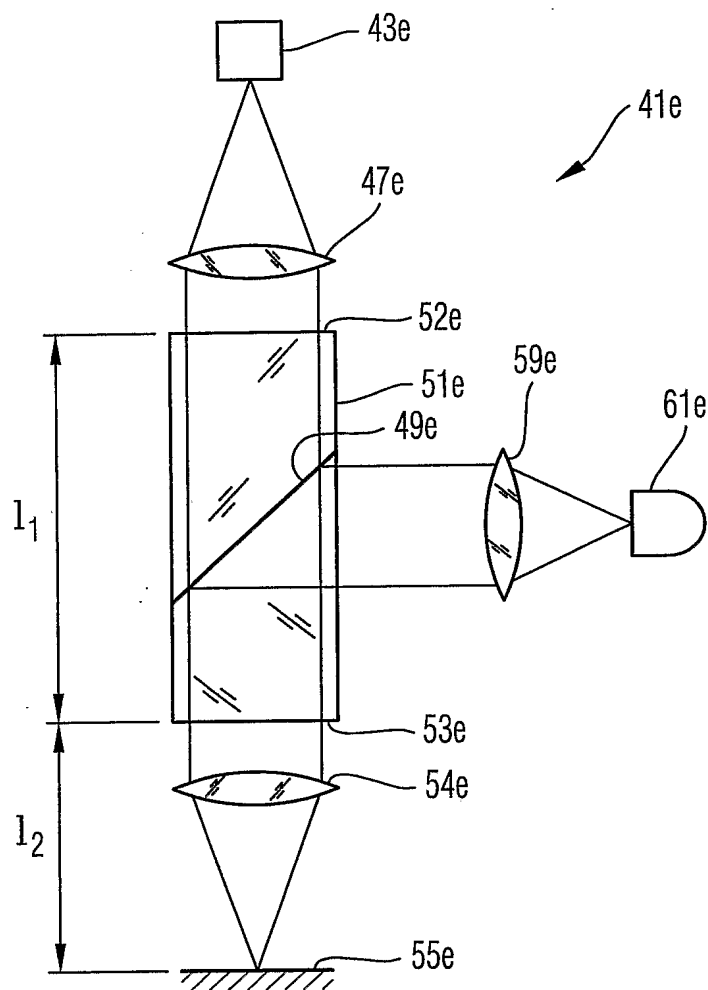


Fig. 12

8/11

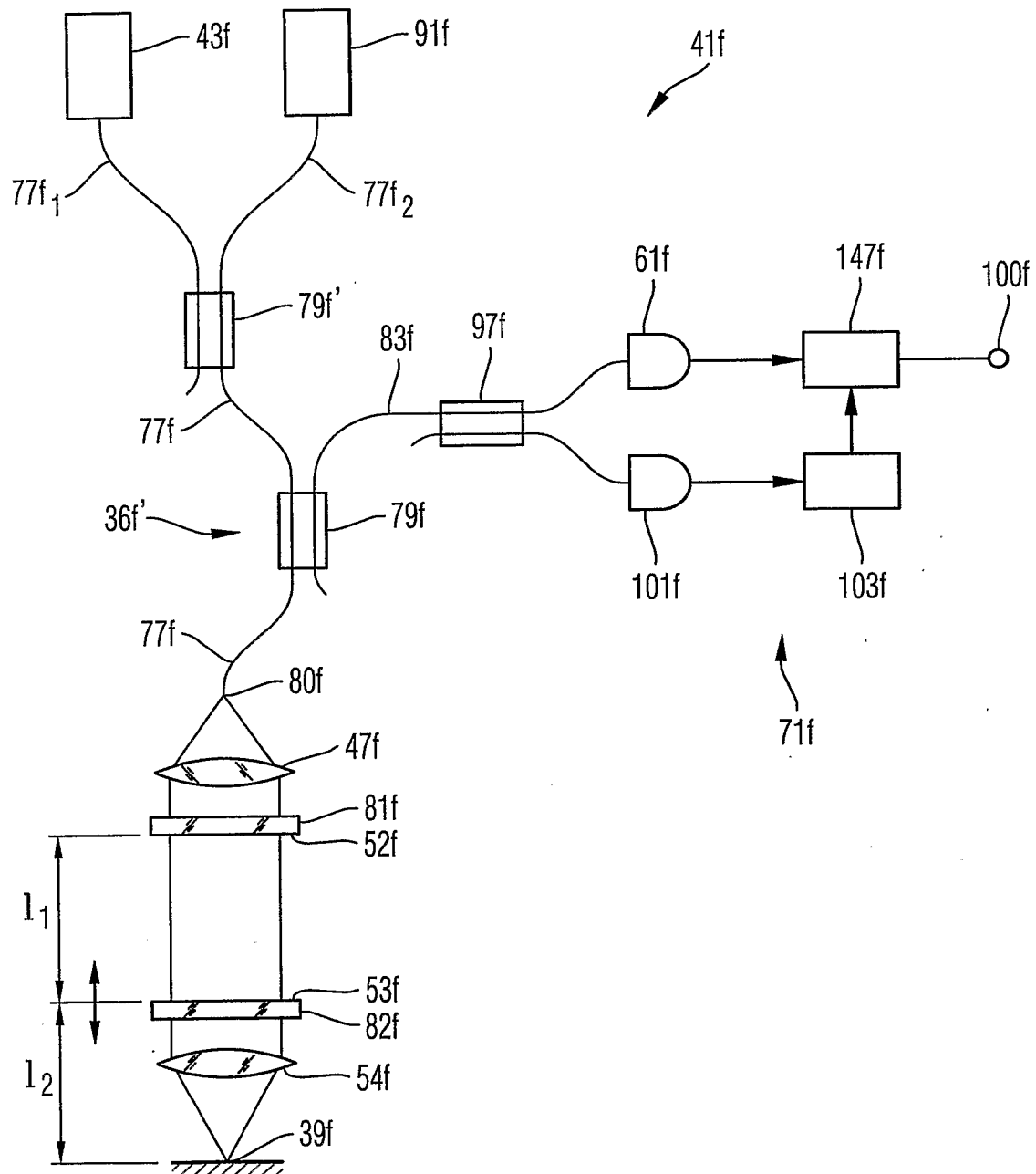


Fig. 13

9/11

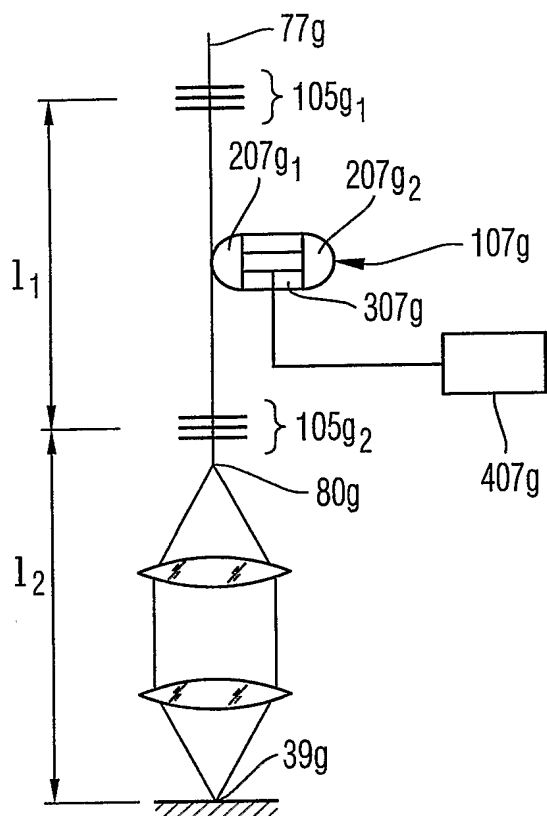


Fig. 14

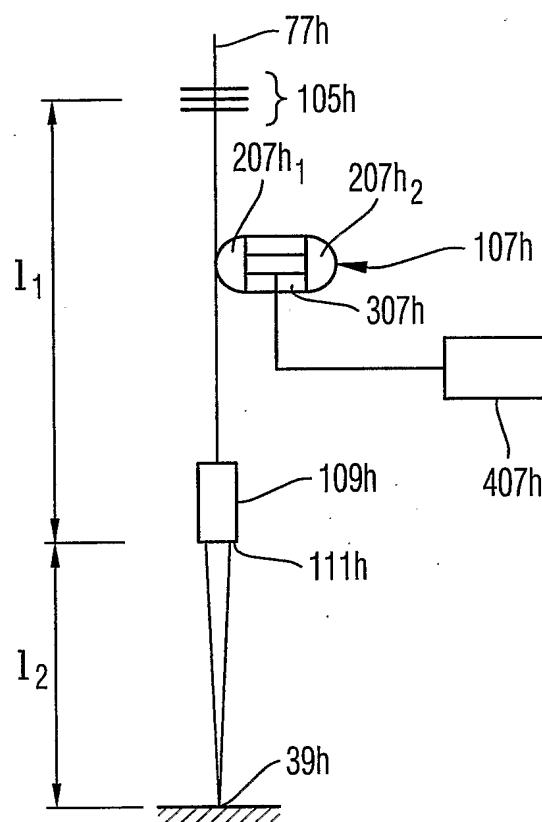


Fig. 15

10/11

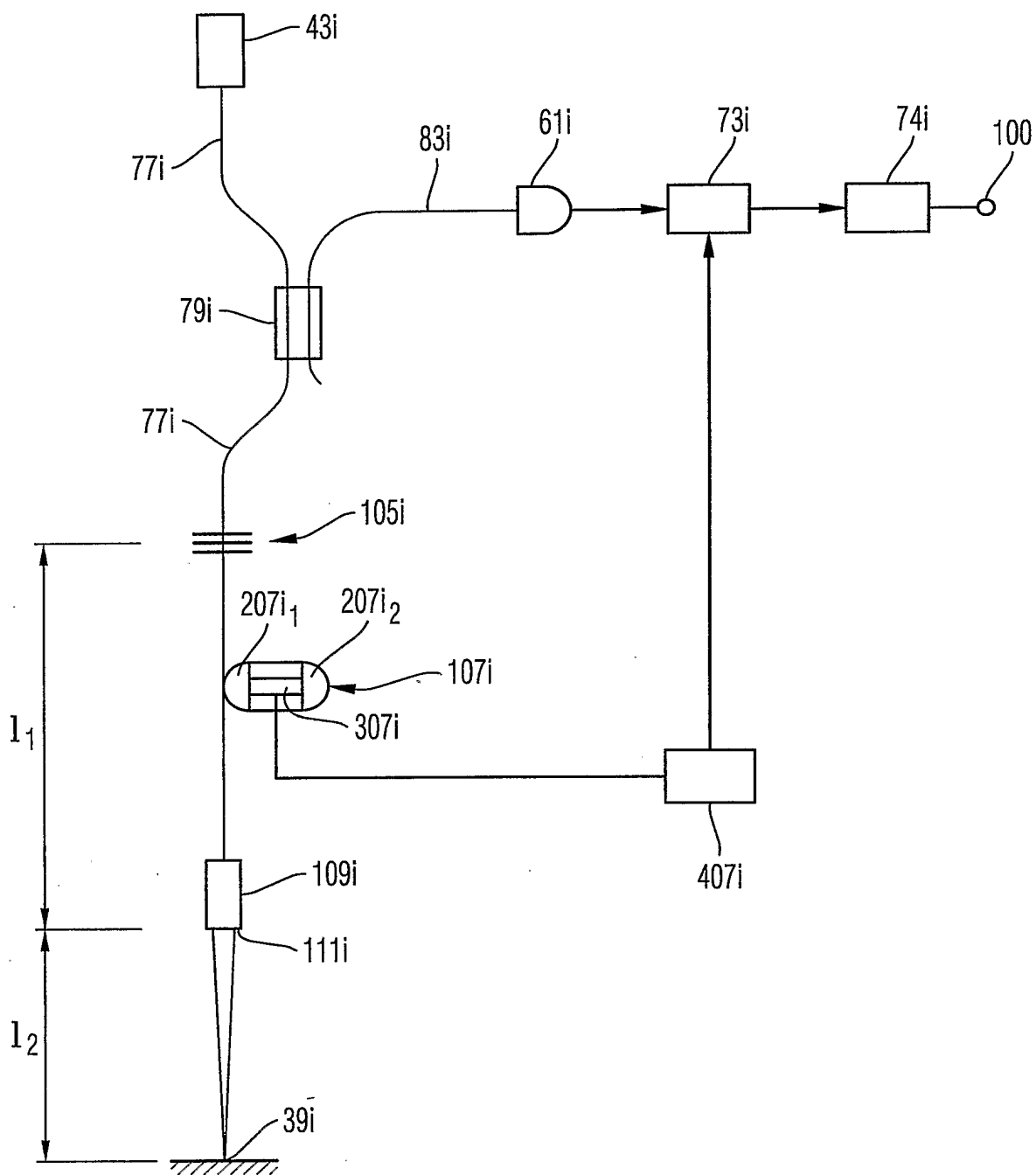


Fig. 16

11/11

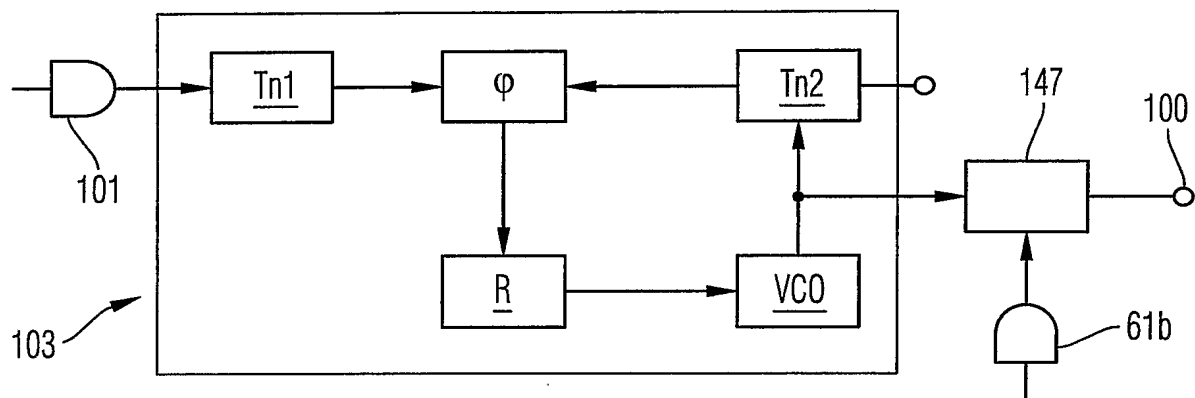


Fig. 17

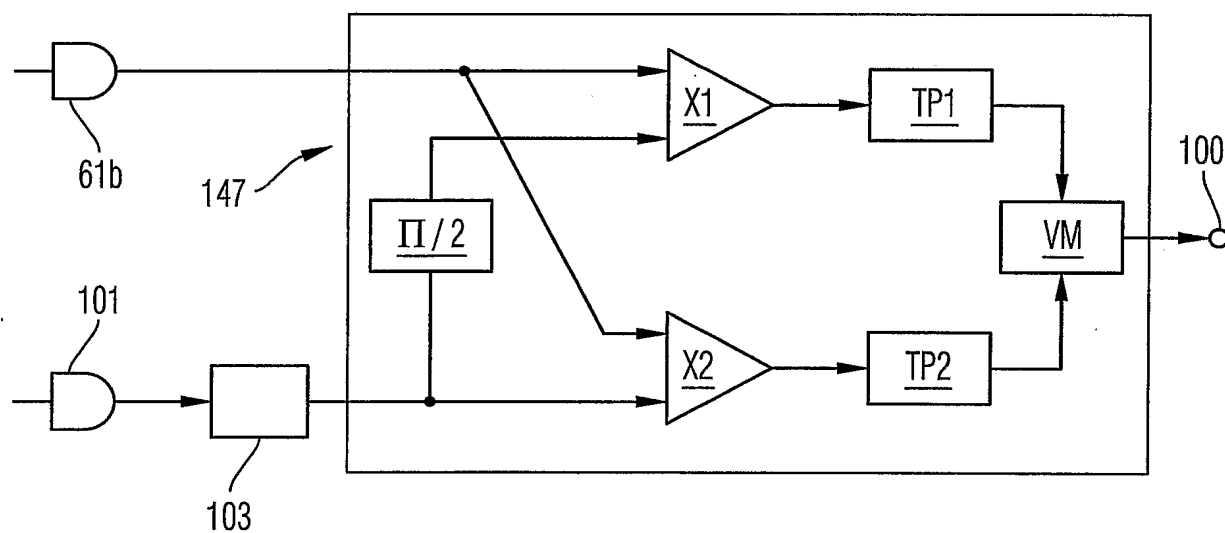


Fig. 18

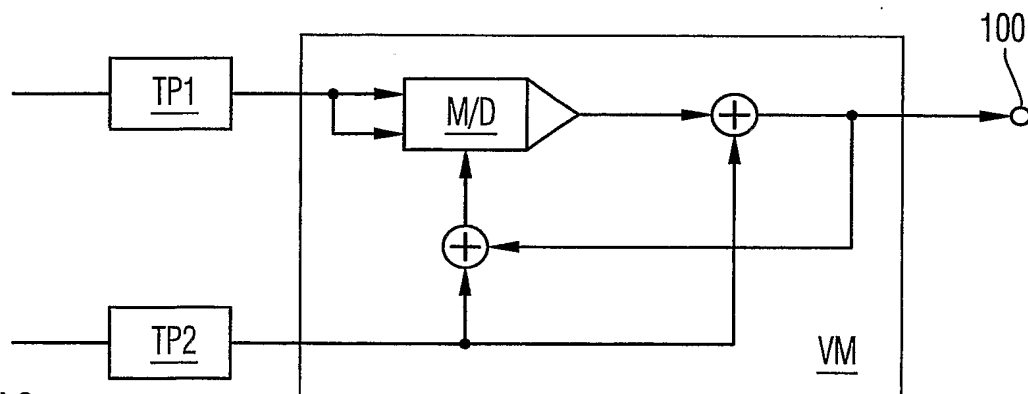


Fig. 19